



TUGAS AKHIR - MO1326

Pengaruh Perlakuan Panas dan Jenis Bakteri terhadap
Ketahanan Korosi Pada Material Baja
(API 5L dan ASTM A53) di Lingkungan Laut

Febrian Ramadhana Sastra

NRP. 4313 100 021

Dosen Pembimbing :

Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D

Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., MT., Ph.D

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017



FINAL PROJECT - MO1326

Effect of Heat Treatment and Types of Bacteria
on Corrosion Resistance At Steel Materials
(API 5L dan ASTM A53) in the Marine
Environment.

Febrian Ramadhana Sastra

NRP. 4313 100 021

SUPERVISORS :

Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D

Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., MT., Ph.D

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017

**Pengaruh Perlakuan Panas dan Jenis Bakteri terhadap Ketahanan Korosi
Pada Material Baja (API 5L dan ASTM A53) di Lingkungan Laut**



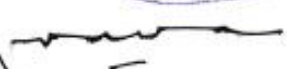
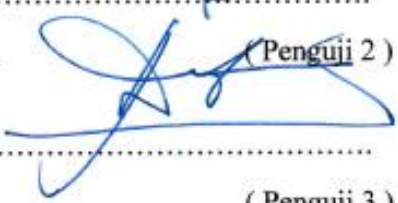
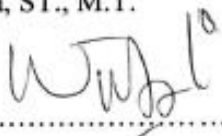
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh

FEBRIAN RAMADHANA SASTRADIMAJA NRP. 4313100021

Disetujui oleh :

- | | |
|--|------------------|
| 1 Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D | (Pembimbing 1) |
|  | |
| 2 Harmin Sulistyaningtitah, S.T., M.T., Ph.D | (Pembimbing 2) |
|  | |
| 3 Ir. J.J. Soedjono, M.Sc | (Penguji 1) |
|  | |
| 4 Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D. | (Penguji 2) |
|  | |
| 5 Wimala L. Dhanistha, ST., M.T. | (Penguji 3) |
|  | |

Surabaya, 20 Januari 2017

**Pengaruh Perlakuan Panas dan Jenis Bakteri terhadap Ketahanan Korosi
Pada Material Baja (API 5L dan ASTM A53) di Lingkungan Laut**

Nama : Febrian Ramadhana Sastradimaja
NRP : 4313100021
Jurusan : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D
Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., MT., Ph.D

Abstrak :

Korosi merupakan hasil kerusakan degradasi material melalui suatu reaksi kimia atau elektrokimia secara spontan yang menyebabkan penurunan mutu material. Salah satu penyebab korosi yaitu adanya bakteri pada material. Bahaya yang ditimbulkan oleh korosi sangat fatal terutama pada anjungan lepas pantai, yaitu berhentinya produksi pada anjungan lepas pantai. Penelitian ini merupakan eksperimen dengan menggunakan material uji baja karbon API 5L Grade B dan ASTM A53 dimana material ini sering digunakan sebagai bahan dasar pembuatan pipa bawah laut. Material akan diberi perlakuan panas sebelum dilakukan *immersion corrosion test* pada air laut buatan (salinitas 35 ‰) yang telah ditambahkan bakteri dan tanpa ditambahkan bakteri. Metode yang digunakan untuk mengambil data laju korosi baja menggunakan metode *weight loss*. Laju korosi paling tinggi yaitu pada material ASTM A53 original dan API 5L original dengan penambahan bakteri T. Ferrooxidant berturut-turut sebesar 3.63 mpy dan 3.50 mpy. Sedangkan Laju korosi paling rendah yaitu pada material ASTM A53 heat treatment dan API 5L heat treatment tanpa penambahan bakteri berturut-turut sebesar 2.33 mpy dan 2.01 mpy. Hal ini mengindikasikan bahwa baja API 5L memiliki tingkat resistensi korosi yang lebih baik daripada ASTM A53 di lingkungan laut berbakteri dan tak berbakteri.

Kata Kunci : API 5L Grade B, ASTM A53, Bakteri, Bio-Korosi, *Heat Treatment*, Korosi

**Effect of Heat Treatment and Types of Bacteria on Corrosion Resistance At
Steel Materials (API 5L dan ASTM A53) in the Marine Environment.**

Name : Febrian Ramadhana Sastradimaja
Reg. Number : 4313100021
Department : Teknik Kelautan
Supervisors : Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D
Harmin Sulistiyaning Titah, S.T., MT., Ph.D

Abstract:

Corrosion is the result of damage to material degradation through a chemical or electrochemical reaction spontaneously which causes a decrease in the quality of the material. One of the causes of corrosion is the presence of bacteria on the material. The danger posed by corrosion is fatal, especially on offshore platforms, namely cessation of production at offshore rigs. This study is an experiment using material carbon steel API 5L Grade B and ASTM A53 which is this material is often used as a base for the manufacture of subsea pipelines. Material to be heat-treated before immersion corrosion test in artificial seawater (salinity 35 ‰) which have been added bacteria and without added bacteria. The method used to take the rate of corrosion steel data is weight loss. The highest corrosion rate of the material ASTM A53 original and API 5L original with the addition of T. Ferrooxidant bacteria are 3.63 mpy and 3.50 mpy. While the lowest corrosion rate material ASTM A53 heat treatment and API 5L heat treatment without adding bacteria are 2.33 mpy and 2.01 mpy. This indicates that the steel API 5L have high levels of corrosion resistance, better than ASTM A53 in the marine environment with bacterio or without bacteria.

Keywords : API 5L Grade B, ASTM A53, Bacteria, Bio-corrosion, corrosion, *Heat Treatment*.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena atas berkat dan rahmatNya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **Pengaruh Perlakuan Panas dan Jenis Bakteri terhadap Ketahanan Korosi Pada Material Baja (API 5L dan ASTM A53) di Lingkungan Laut.**

Tugas Akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi kesarjanaan (S-1) di jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tujuan Tugas Akhir ini adalah mendapatkan data pengaruh perlakuan panas *hardening* terhadap laju korosi material baja pada *immersion corrosion test* dengan adanya penambahan bakteri dan tanpa penambahan bakteri. Dan mendapatkan struktur mikro material baja setelah terkorosi. Serta mendapatkan kesimpulan dari hasil penelitian mengenai bakteri mana yang cukup korosif terhadap spesimen uji.

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan yang terbaik. Namun penulis juga menyadari bahwa pada Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga hasil yang dicapai penulis dapat berhuna bagi penulis sendiri dan untuk pembaca pada umumnya.

Surabaya, 20 Januari 2017

Febrian Ramadhana Sastradimaja

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama menyelesaikan penyusunan tugas akhir, penulis telah mendapatkan manfaat, dukungan, bantuan, dan bimbingan secara langsung maupun tidak langsung dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang memberikan rahmat dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua dan kakak penulis yang senantiasa mendukung dan mendoakan selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto ,ST., MT selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Bapak Herman Pratikno, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pertama dan selaku dosen wali serta sebagai koordinator TA jurusan Teknik kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
5. Ibu Hermin Sulistiyaningtitah, S.T, M.T, Ph.D selaku dosen pembimbing kedua.
6. Para penguji Tugas akhir yang telah memberikan evaluasi dan saran kepada penulis.
7. Ibu Iin selaku teknisi Laboratorium Remediasi Lingkungan Teknik Lingkungan ITS.
8. Ibu Mery selaku teknisi Laboratorium Pengolahan limbah B3 Teknik Lingkungan ITS.
9. Teknisi Laboratorium Ekstraksi Teknik material dan Metalurgi ITS.
10. Seluruh keluarga besar mahasiswa teknik kelautan ITS angkatan 2013 “VALTAMERI” yang telah memberikan semangat dan bantuan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

11. Teman teman rumah kos AL-FIKRIYAH yang telah memberikan semangat dan perhatian kepada penulis tugas akhir.
12. Teman-teman seperjuangan “Generasi Semalam” yang banyak membantu dan memberikan semangat.
13. Serta semua pihak lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada laporan ini. Untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan laporan ini. Penulis berharap laporan ini dapat membantu para pembaca untuk mengenal lebih dekat dunia perminyakan dan material serta dapat dijadikan referensi untuk keperluan pendidikan serta dapat bermanfaat bagi kita semua. Terima kasih.

Surabaya, 20 Januari 2017

Febrian Ramadhana Sastradimaja

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Manfaat.....	2
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka.....	4
2.2 Dasar Teori.....	5
2.2.1 Baja	5
2.2.2 Baja ASTM A53	5
2.2.3 Baja API 5L grade B	5
2.2.4 Korosi.....	6
2.2.4.1 Definisi.....	6
2.2.4.2 Prinsip Dasar dan Mekanisme	7
2.2.5 Korosi Mikrobiologi	10
2.2.6 Laju Korosi	11
2.2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi.....	12
2.2.8 Perlakuan Panas	14
2.2.8.1 Klasifikasi Perlakuan Panas	15

2.2.9	Pengujian Kekerasan.....	19
2.2.9.1	Hardness Test.....	19
2.2.9.2	Prinsip Pengujian Metode Brinell.....	20
2.2.10	Persebaran Bakteri di Indonesia.....	22
2.2.11	Bakteri yang Digunakan Dalam Penelitian.....	23
2.2.10.1	<i>Pseudomonas Fluorescens</i>	23
2.2.10.2	<i>Escherecia Coli</i>	24
2.2.10.3	<i>Thiobacillus ferrooxidans</i>	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Diagram Alir Penelitian	27
3.2	Prosedur Penelitian.....	29
3.2.1	Studi Literatur	29
3.2.2	Persiapan Penelitian	29
3.2.3	Persiapan Spesimen uji	30
3.2.4	Persiapan bakteri.....	36
3.2.4.1	Tahapan re-growth isolat bakteri.....	36
3.2.4.2	Tahapan inokulasi bakteri	38
3.2.5	Persiapan larutan uji.....	40
3.2.6	Proses pengujian biokorosi	43
3.2.7	Pembersihan spesimen	44
3.2.8	Penimbangan berat specimen.....	45
3.2.9	Pengamatan struktur mikro	45
3.2.10	Analisa berat	46
3.2.11	Perhitungan laju korosi	46
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		47
4.1	Hasil Pembuatan Material Uji.....	47
4.1.1	Pengerasan Material	48
4.1.2	Tes kekerasan Material.....	48
4.2	Hasil Pengembangbiakan Bakteri (re-growth isolat bakteri).....	49
4.2.1	<i>Escherichia Coli</i>	50

4.2.2 Pseudomonas Fluorescens	51
4.2.3 Thiobacillus Ferrooxidans	52
4.3 Hasil Percobaan Bio-Korosi dengan metode rendam	53
4.3.1 Material ASTM A53	54
4.3.2 Material API 5L	55
4.4 Hasil foto makrostruktur dan mikrostruktur	57
4.4.1 foto makro	57
4.4.2 foto mikro.....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	62
5.1 Kesimpulan	62
5.1 Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN	

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Korosi merupakan hasil kerusakan degradasi material melalui suatu reaksi kimia atau elektrokimia secara spontan yang menyebabkan penurunan mutu material. Laju korosi pada lingkungan netral normalnya adalah 1 mpy atau kurang. Selain air ada beberapa faktor yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya faktor kandungan gas dan padatan terlarut, faktor temperature, seleksi material, faktor pH, faktor bakteri pereduksi atau *Sulfat Reducing Bacteria* (ASM International, 2003).

Seperti yang diungkapkan oleh Ellenberg (dalam Rheinheimer 1980) bahwa bakteri heterotrofik merupakan komponen biotik pada ekosistem laut yang berfungsi sebagai dekomposer untuk menghasilkan mineral - mineral sebagai nutrien. Di Indonesia sendiri persebaran bakteri pengurai di laut tidak merata. Hal ini disebabkan faktor sumber nutrisi, kedalaman laut dan habitat pada ekosistem laut (seperti sungai, danau, estuari, mangrove, laut dangkal dan laut dalam). Selain faktor-faktor tersebut diatas, menurut Rheinheimer 1980 mengemukakan bahwa faktor fisika laut seperti arus, pasang surut, turbulensi, gelombang dan temperatur dapat mempengaruhi distribusi bakteri heterotrofik pada ekosistem laut.

Mikroorganisme yang memengaruhi proses korosi dibagi menjadi dua jenis yaitu bakteri aerob dan anaerob. Bakteri tersebut membentuk suatu koloni diatas permukaan logam untuk tempat hidup mereka. Koloni tersebut membentuk suatu lapisan (biofilm) pada permukaan material sehingga material menjadi terkorosi akibat dari aktivitas hidup mikroorganisme tersebut.

Bakteri yang mampu mendegradasi logam di dalam laut antara lain *Thiobacillus ferrooxidans*, *T.thiooxidans*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida* *Bacillus Licheniformis*, *B.Cereus* (Crueger dan Crueger (1984). Namun karena geografis perairan Indonesia yang mayoritas adalah perairan dangkal dan sedang, bakteri yang banyak tersebar di perairan Indonesia seperti hasil dari penelitian Agus Irianto tahun 2013 adalah *P.fluorescens*, *E.Coli*, *T.ferrooxidans*.

Bakteri yang mampu mendegradasi logam erat kaitannya dengan korosi bakteri atau bio-korosi. Yaitu sebagai salah satu penyebab terjadinya korosi pada perpipaan bawah laut maupun di anjungan lepas pantai.

Bio-korosi merupakan masalah besar untuk industri minyak bumi. Sekitar 20-30% dari kejadian korosi terkait dengan kegiatan mikroorganisme. Menurut Ugochukwu dan Sunday, kegiatan mikroorganisme mempengaruhi integritas, keamanan dan keandalan operasi pipa penyalur minyak bumi. Pada tahun 2011, biaya tahunan dari semua bentuk korosi untuk industri minyak dan gas diperkirakan mencapai \$ 13.400.000.000, di mana bio-korosi menyumbang sekitar \$ 2.000.000.000. (Herman Pratikno, 2016). Mengingat begitu besarnya biaya dalam perbaikan karena korosi, maka dalam perancangan pipa bawah laut pada industri minyak dan gas perlu dilakukan pemilihan material dan perlakuan terhadap material secara tepat.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh perlakuan panas *hardening* terhadap laju korosi material baja pada *immersion corrosion test* dengan adanya penambahan bakteri dan tanpa penambahan bakteri ?
2. Bagaimana struktur mikro material baja sebelum dan setelah terkorosi ?
3. Bagaimana kesimpulan dari hasil penelitian mengenai bakteri mana yang cukup korosif terhadap spesimen uji ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan data pengaruh perlakuan panas *hardening* terhadap laju korosi material baja pada *immersion corrosion test* dengan adanya penambahan bakteri dan tanpa penambahan bakteri.
2. Mendapatkan struktur mikro material baja sebelum dan setelah terkorosi.
3. Mendapatkan kesimpulan dari hasil penelitian mengenai bakteri mana yang cukup korosif terhadap spesimen uji.

1.4 Manfaat

Dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui pengaruh perlakuan panas *hardening* terhadap laju korosi material baja pada *immersion corrosion test* dengan adanya penambahan bakteri dan tanpa penambahan bakteri, sehingga dapat diketahui pemilihan bahan material yang tepat untuk pipa bawah laut pada lingkungan laut serta dapat dijadikan informasi yang saling melengkapi dengan hasil penelitian-penelitian sebelumnya tentang bio-korosi.

1.5 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang diujikan adalah baja API 5L Grade B dan ASTM A53
2. Bakteri yang diujikan, antara lain : *Pseudomonas fluorescens*, *Thiobacillus ferrooxidans*, dan *Escherichia coli*.
3. Material diberi perlakuan panas dengan metode *Hardening* (pengerasan) dan pendinginan cepat (*quenching*).
4. Percobaan dilakukan pada spesimen yang terbenam seluruhnya di bawah medium penguji (air laut buatan, salinitas 35 ‰).
5. Pada penelitian ini, dalam menghitung laju korosi menggunakan metode *weight loss*.
6. Pada Penelitian ini, perhitungan jumlah bakteri menggunakan metode Turbiditri.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

3.1 TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian dan pengkajian mengenai bio-korosi saat ini sudah mulai berkembang. Perkembangan tersebut diiringi dengan perubahan kebijakan yang mengacu pada aspek lingkungan. Beberapa referensi penelitian yang berkaitan dengan judul penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Isa, Ishak., dan Yuliana R. (2013) dalam penelitiannya membahas mengenai pemanfaatan berbagai jenis bakteri dalam proses bioleaching limbah logam berat. Dimana tujuannya adalah ditemukannya berbagai jenis bakteri tertentu yang mampu menghilangkan dan membersihkan limbah logam berat yang berbahaya di lingkungan.
2. Pratikno, Herman (2007) dalam penelitiannya membahas tentang pengaruh perlakuan panas (*Austemper Processing*) pada baja untuk mengetahui perubahan strukturnya.
3. Pratikno, Herman., dan Hermin S. (2016) dalam penelitiannya membahas mengenai bio-korosi pada struktur baja ASTM A106 dan A53 pada lingkungan laut. Penelitian ini dilakukan pada 3 jenis salinitas yang berbeda. Salinitas 33 ‰, 35 ‰, dan 37 ‰, dengan menggunakan bakteri *Pseudomonas fluorescens*, *Thiobacillus ferrooxidans*, dan *Escherichia coli*.

Ketiga ulasan literatur tersebut telah melakukan penelitian mengenai *heat treatment* dan bio-korosi. Maka dari itu penulis ingin melakukan penelitian mengenai bio-korosi dengan variasi *heat treatment* terhadap pipa baja di lingkungan air laut buatan dengan material pipa ASTM A53 dan API 5L.

3.2 DASAR TEORI

2.2.1 Baja

Baja merupakan logam paduan yang sering digunakan untuk bidang rekayasa teknik. Logam besi sebagai unsur dasar dengan beberapa elemen lainnya, termasuk karbon. Kandungan unsur karbon dalam baja bermacam-macam sesuai dengan grade-nya.

Besar kecilnya prosentase unsur karbon akan berdampak pada sifat mekanik dari baja tersebut, misalnya dalam hal kekerasan, kerapuhan, keuletan, kemampuan bentuk dan sifat-sifat mekanik lainnya. (Yanuar, 2015)

2.2.2 Baja ASTM A53

Material baja ASTM A53 sering digunakan untuk bahan pembuatan pipa yang dilapisi oleh unsur zinc (galvanized) atau sebagai alternatif penggunaan tipe A106. Baja ini memiliki kandungan yang dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Tabel Kandungan kimia ASTM A53 (ASTM Standard, 1993)

Komposisi	Grade A	Grade B
Carbon max. %	0.25	0.3
Manganese %	0.95	1.2
Phosphorous, max. %	0.05	0.05
Sulfur, max. %	0.045	0.045
Copper, max.%	0.4	0.4
Nickel, max. %	0.4	0.4
Chromium, max. %	0.4	0.4
Molybdenum, max. %	0.15	0.15
Vanadium, max. %	0.08	0.08

2.2.3 Baja API 5L grade B

Pipa baja API 5L grade B merupakan jenis pipa yang didesain khusus untuk pipa bawah laut dimana pipa jenis ini dengan spesifikasi 5L adalah menunjukan jenis yang khusus digunakan untuk *offshore pipeline*.

Dengan grade B menunjukan pipa bawah laut ini mempunyai tegangan minimum yang di ijinakan sebesar 35.000 psi atau 241,32 MPa yang banyak

dipakai pada struktur anjungan minyak bumi dan gas. Baja ini memiliki kandungan yang dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Tabel Kandungan kimia API 5L Grade B (API Standard, 2004)

Komposisi	Grade B
Carbon max. %	0.28
Manganese %	1.20
Phosphorous, max. %	0.03
Sulfur, max. %	0.03
Titanium, max.%	0.04

2.2.4 Korosi

2.2.4.1 Definisi

Pada Umumnya korosi yang didefinisikan sebagai kerusakan atau degradasi material yang disebabkan oleh reaksi antara material dengan lingkungannya, akan membuat material yang terkorosi memiliki sifat dan kualitas yang lebih rendah dari material yang tidak mengalami korosi. Bila korosi terjadi terus menerus pada suatu material, maka material tersebut akan berubah seluruhnya menjadi produk korosi.

Komponen utama dalam korosi ada dua yaitu material dan lingkungan. Material dapat berupa logam maupun non-logam seperti keramik, karet, plastik, dan material non-logam lainnya. Lingkungan dapat berupa kelembaban udara, asam atau basa, gas, temperatur, dan lain-lain. Korosi dapat berlangsung secara cepat atau lambat bergantung pada tingkat keaktifan reaksi material tersebut dengan lingkungannya. Reaksi yang terjadi dapat berupa reaksi kimia, elektrokimia, atau secara mekanik.

Korosi secara umum terbagi menjadi beberapa bentuk berdasarkan mekanisme terjadinya yang antara lain adalah:

1. Korosi seragam
2. Korosi galvanik
3. Korosi celah
4. Korosi sumuran
5. Environmentally induced corrosion
6. Kerusakan akibat hidrogen

7. Korosi batas butir
8. Korosi erosi
9. Korosi biologi atau korosi bakteri

2.2.4.2 Prinsip Dasar dan Mekanisme

Pada korosi logam, reaksi yang paling banyak terjadi adalah reaksi elektrokimia dimana terdapat anoda, katoda, dan elektrolit sebagai tiga komponen utama dalam reaksi elektrokimia. Antara anoda dan katoda terjadi suatu kontak satu sama lain atau terhubung secara elektrokimia. Katoda mengalami reaksi reduksi sedangkan anoda mengalami oksidasi dan terkorosi. Proses oksidasi merupakan suatu proses pelepasan sejumlah elektron sehingga terjadi suatu peningkatan bilangan oksidasi. Reaksi reduksi merupakan suatu proses penangkapan elektron dan terjadi penurunan bilangan oksidasi. Logam yang mengalami oksidasi inilah yang akan terkorosi dan berubah menjadi senyawa lain dengan bilangan oksidasi yang lebih besar (Indra Surya).

Proses korosi dapat terjadi hanya jika 4 komponen dasar terjadinya korosi terpenuhi, komponen tersebut ialah yaitu (Chamberlain, 1995) :

1. Anoda, merupakan bagian logam yang berfungsi sebagai elektroda, dimana terjadi reaksi anodik. Reaksi anodik adalah reaksi yang menghasilkan elektron.



2. Katoda, merupakan elektroda yang mengalami reaksi katodik yang mengkonsumsi elektron hasil dari reaksi anodik. Reaksi reduksi yang sering terjadi adalah (chamberlain, 1995) :

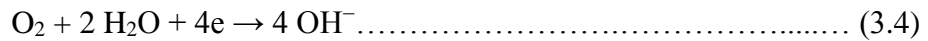
- Reaksi pembentukan hydrogen :



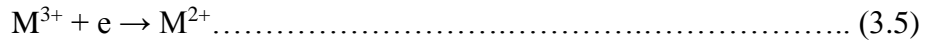
- Reaksi reduksi oksigen dalam larutan asam



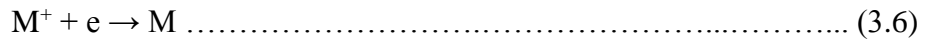
- Reaksi reduksi oksigen dalam larutan basa/netral



- Reaksi reduksi logam

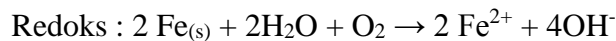
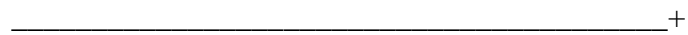
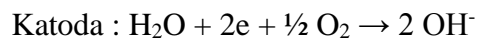
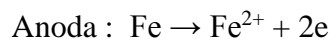


- Deposisi logam



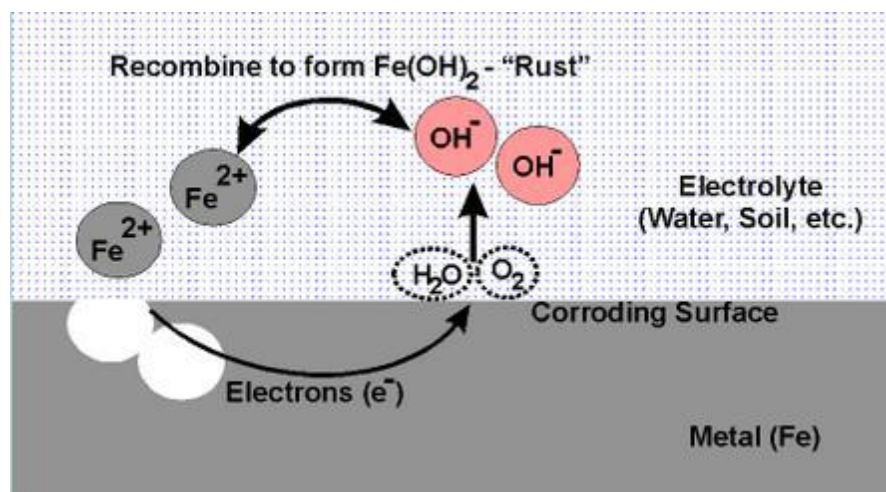
3. Penghantar listrik, dimana diantara katoda dan anoda harus terdapat kontak listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir.
4. Elektrolit, merupakan suatu media yang bersifat menghantarkan arus listrik seperti air dan tanah.

Contoh yang umum terjadi proses korosi adalah pada pipa penyalur minyak dan gas yang menggunakan material logam baja paduan di lingkungan air laut sebagai berikut :



Reaksi diatas dapat dijelaskan bahwa reaksi terjadi pada anoda ialah logam Fe mengalami oksidasi sehingga menghasilkan ion-ion logam Fe dan elektron. Pada katoda terjadi reaksi reduksi dimana terjadi pelepasan ion-ion OH⁻ yang menyebabkan lingkungan menjadi basa atau netral. Ion OH⁻ ini berasal reduksi oksigen.

Logam yang berlaku sebagai sel korosi akan memberikan elektron (anoda) dan lingkungannya sebagai penerima elektron (katoda). Pada logam yang teroksidasi akan larut ke lingkungannya menghasilkan ion-ion logam dan melepaskan elektron secara bersamaan, sedangkan pada katoda terjadi reaksi dimana ion-ion dari lingkungan mendekati logam dan menangkap electron-electron yang tertinggal pada logam. Korosi terjadi melalui perantara dimana perantara tersebut adalah lingkungannya dan biasa disebut sebagai elektrolit. Skema sel korosi secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.1. (Denny. 1992)



Gambar 2.1 Mekanisme terjadinya korosi (Andhi G., 2011)

Skema diatas dapat dijabarkan sebagai berikut :

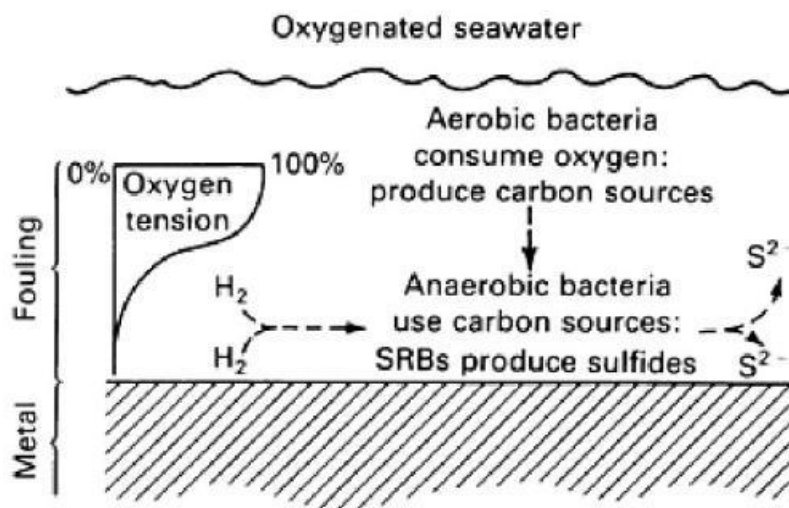
1. Anoda : terjadi reaksi anodik dimana logam Fe larut menjadi ion Fe²⁺
2. Katoda : terjadi reaksi katodik
3. Elektrolit sebagai media perantara elektron

Faktor yang berpengaruh terhadap korosi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu yang berasal dari bahan itu sendiri dan dari lingkungan. Faktor dari bahan meliputi kemurnian bahan, struktur bahan, bentuk kristal, unsur-unsur kelumit yang ada dalam bahan, dan sebagainya. Faktor dari lingkungan meliputi, suhu, kelembaban, keberadaan zat-zat kimia yang bersifat korosif, pH, temperatur dan perpindahan panas, pergerakan fluida, potensial elektrokimia, dan sebagainya.

2.2.5 Korosi Mikrobiologi

Microbially Induced Corrosion atau bio-korosi mempengaruhi perusahaan pembangkit listrik tenaga nuklir dan tenaga bahan bakar, pipa bawah laut, persenjataan atau alat perang, ladang minyak dan industri lepas pantai. Bio-korosi merupakan masalah besar untuk industri minyak bumi. Sekitar 20-30% dari kejadian korosi terkait dengan kegiatan mikroorganisme. Menurut Ugochukwu dan Sunday, kegiatan mikroorganisme mempengaruhi integritas, keamanan dan keandalan operasi pipa penyalur minyak bumi. Pada tahun 2011, biaya tahunan dari semua bentuk korosi untuk industri minyak dan gas diperkirakan mencapai \$ 13.400.000.000, di mana bio-korosi menyumbang sekitar \$ 2.000.000.000. (Herman Pratikno, 2016)

Mikroorganisme yang mempengaruhi proses korosi dibagi menjadi dua jenis yaitu bakteri aerob dan anaerob. Bakteri tersebut membentuk suatu koloni diatas permukaan logam untuk tempat hidup mereka. Koloni tersebut membentuk suatu lapisan (biofilm) pada permukaan material sehingga material menjadi terkorosi akibat dari aktivitas hidup mikroorganisme tersebut.



Gambar 2.2 Skema biofilm yang terbentuk oleh adanya bakteri aerob dan anaerob (Miska R. , 2011)

2.2.6 Laju Korosi

Laju korosi adalah kecepatan rambatan atau kecepatan penurunan kualitas suatu material terhadap waktu. Laju korosi berkaitan erat dengan komponen kimia material dan kondisi fisik material pada tempat.

Suatu material cenderung akan memiliki laju korosi yang rendah apabila komposisi karbon lebih rendah dari 0.2 % . Apabila dilihat dari kondisi fisik suatu material, maka yang paling berpengaruh adalah temperature, tingkat keasaman suatu lingkungan, kelembaban udara, dan lain sebagainya. Dalam kondisi real di lapangan kondisi lingkungan memegang peranan penting dalam menentukan cepat lambatnya laju korosi pada suatu material.

Metode kehilangan berat merupakan metode untuk perhitungan laju korosi dengan mengukur kekurangan berat akibat korosi yang terjadi. Metode ini menggunakan jangka waktu penelitian hingga didapatkan jumlah kehilangan berat akibat korosi. Berdasarkan ASTM G31-72, persamaan untuk menghitung laju korosi adalah sebagai berikut :

$$\text{Laju Korosi (mpy)} = \frac{K W}{D A T} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan:

- W = Kehilangan berat (mg)
- K = konstanta (mpy = $3,45 \times 10^6$)
- D = Kerapatan benda uji (g/cm^3)
- A = Luas permukaan yang terkorosi (cm^2)
- T = Waktu exposure (jam)

Tabel 2.3 Tabel Koefisien Laju Korosi (ASTM G 1, Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating)

Corrosion Rate Units Desired	Constant (<i>K</i>) in Corrosion Rate Equation
mils per year (mpy)	3.45×10^6
inches per year (ipy)	3.45×10^3
inches per month (ipm)	2.87×10^2
millimetres per year (mm/y)	8.76×10^4
micrometres per year ($\mu\text{m/y}$)	8.76×10^7
picometres per second (pm/s)	2.78×10^6
grams per square metre per hour ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$)	$1.00 \times 10^4 \times D^a$
milligrams per square decimeter per day (mdd)	$2.40 \times 10^6 \times D^a$
micrograms per square metre per second ($\mu\text{g/m}^2 \cdot \text{s}$)	$2.78 \times 10^6 \times D^a$

^aDensity is not needed to calculate the corrosion rate in these units. The density in the constant *K* cancels out the density in the corrosion rate equation.

Metode yang digunakan pada persamaan diatas adalah dengan mengukur kembali berat awal suatu material, berkurangnya berat dari berat awal material merupakan nilai kehilangan berat. Kekurangan berat ini dimasukkan ke dalam persamaan untuk mendapatkan laju kehilangan berat atau disebut juga dengan laju korosi (*corrosion rate*). Metode ini merupakan metode yang paling sering dipakai dalam mencari laju korosi suatu material karena merupakan metode paling baik dan paling mudah dilakukan.

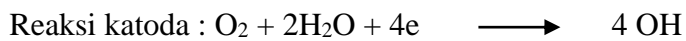
2.2.7 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Laju Korosi

Laju korosi maksimum yang diizinkan dalam lapangan minyak adalah 5 mpy (mils per year, 1 mpy = 0,001 in/year), sedangkan normalnya adalah 1 mpy atau kurang. Umumnya problem korosi disebabkan oleh air. Tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi) diantaranya:

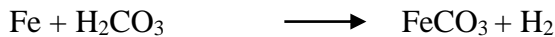
1. Faktor Gas Terlarut.

Oksigen (O_2), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada mild stell alloys akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Kelarutan oksigen dalam air merupakan fungsi

dari tekanan, temperatur dan kandungan klorida. Untuk tekanan 1 atm dan temperatur kamar, kelarutan oksigen adalah 10 ppm dan kelarutannya akan berkurang dengan bertambahnya temperatur dan konsentrasi garam. Sedangkan kandungan oksigen dalam kandungan minyak-air yang dapat menghambat timbulnya korosi adalah 0,05 ppm atau kurang. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut :



Karbon dioksida (CO₂), jika kardon dioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat (H₂CO₃) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:



FeCO₃ merupakan *corrosion product* yang dikenal sebagai *sweet corrosion*.

2. Faktor Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

3. Faktor pH

pH netral adalah 7, sedangkan pH < 7 bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk pH > 7 bersifat basa juga korosif. Tetapi untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada pH < 7 dan pada pH > 13.

4. Faktor Bakteri Pereduksi atau Sulfat Reducing Bacteria (SRB).

Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas H₂S yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

5. Faktor Padatan Terlarut.

- a. Klorida (Cl), klorida menyerang lapisan mild steel dan lapisan stainless steel. Padatan ini menyebabkan terjadinya pitting, crevice corrosion, dan juga menyebabkan pecahnya aloys. Klorida biasanya ditemukan pada campuran minyak-air dalam konsentrasi tinggi yang akan menyebabkan proses korosi. Proses korosi juga dapat disebabkan oleh kenaikan konduktivitas larutan garam, dimana larutan garam yang lebih konduktif, laju korosinya juga akan lebih tinggi.
- b. Karbonat (CO₃), kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.
- c. Sulfat (SO₄), ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan dalam konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.

2.2.8 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah kombinasi operasi pemanasan dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu, dimaksudkan untuk memperoleh sifat tertentu. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan kemampuan memotong meningkat atau dapat dilunakan untuk memudahkan proses pemesinan lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil. Selain itu ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas tepat, komposisi kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis.

Di samping karbon, baja paduan umumnya mengandung nikel, chromium, mangan, molibden, tungsten, silicon, vanadium dan tembaga. Karena sifat-sifatnya lebih unggul, baja paduan memiliki kegunaan yang lebih luas dibandingkan dengan baja karbon biasa. Laju pendinginan

merupakan faktor pengendali; pendinginan yang cepat, lebih cepat dari pada pendinginan kritis akan menghasilkan struktur yang keras, pendinginan yang lambat akan menghasilkan struktur yang lebih lunak.

2.2.8.1 Klasifikasi Perlakuan Panas

Secara umum proses perlakuan panas dapat diklasifikasikan sebagai berikut;

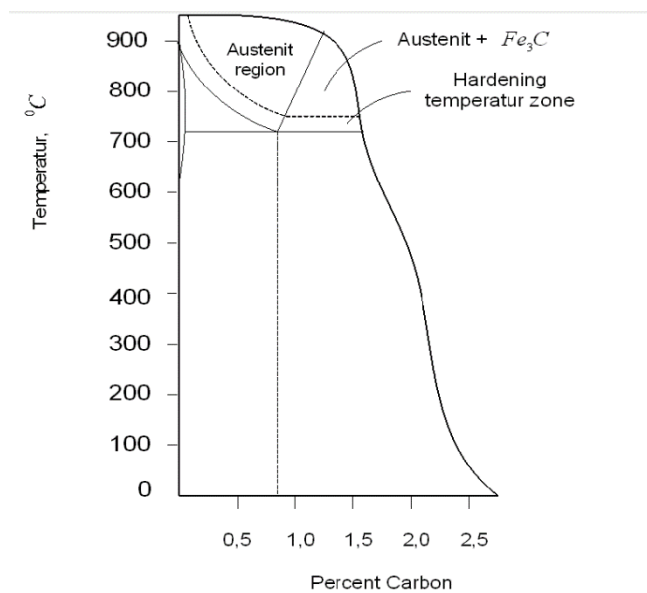
- a) Annealing
- b) Normalizing.
- c) Hardening.
- d) Tempering.

- **Hardening.**

Hardening atau pengerasan dan disebut juga penyepuhan merupakan salah satu proses perlakuan panas yang sangat penting dalam produksi komponen-komponen mesin. Untuk mendapatkan struktur baja yang halus, keuletan, kekerasan yang diinginkan, dapat diperoleh melalui proses ini.

Menurut Kenneth Budinski (1999: 167), pengerasan baja membutuhkan perubahan struktur kristal dari body-centered cubic (BCC) pada suhu ruangan ke struktur kristal face-centered cubic (FCC). Dari diagram keseimbangan besi karbon dapat diketahui besarnya suhu pemanasan logam yang mengandung karbon untuk mendapatkan struktur FCC. Logam tersebut harus dipanaskan dengan sempurna sampai daerah austenit. Gambar 2.3 menunjukkan daerah temperatur pengerasan untuk baja karbon.

Pengerasan meliputi pekerjaan pendinginan yang menyebabkan karbon terbentuk dalam struktur kristal. Pendinginan dilakukan dengan mengeluarkan dengan cepat logam dari dapur pemanas (setelah direndam selama waktu yang cukup untuk mendapatkan temperatur yang dibutuhkan) dan mencelupkan kedalam media pendingin air atau oli.

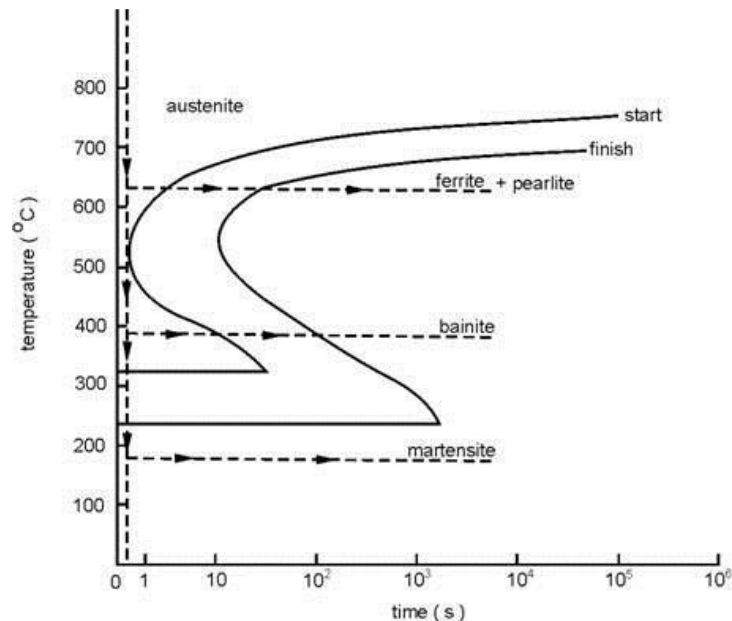


Gambar 2.3 Temperatur pengerasan pada diagram besi karbon (Budinski, 1999: 167)

Dalam proses pengerasan terdapat proses pendinginan atau *quenching*. Proses quenching melibatkan beberapa faktor yang saling berhubungan. Pertama yaitu jenis media pendingin dan kondisi proses yang digunakan, yang kedua adalah komposisi kimia dan hardenability dari logam tersebut. Hardenability merupakan fungsi dari komposisi kimia dan ukuran butir pada temperatur tertentu. Selain itu, dimensi dari logam juga berpengaruh terhadap hasil proses quenching.

1. Pendinginan tidak menerus

Jika suatu baja didinginkan dari suhu yang lebih tinggi dan kemudian ditahan pada suhu yang lebih rendah selama waktu tertentu, maka akan menghasilkan struktur mikro yang berbeda. Hal ini dapat dilihat pada diagram Isothermal Transformation Diagram dibawah ini.



Gambar 2.4 Isothermal Transformation Diagram

(Sumber : www.steelindonesia.com)

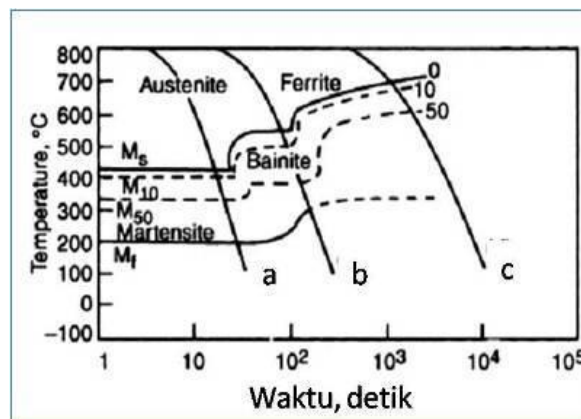
Berikut beberapa penjelasan tentang diagram diatas

- Bentuk diagram tergantung dengan komposisi kimia terutama kadar karbon dalam baja tersebut
- Untuk baja dengan kadar karbon kurang dari 0.83% yang ditahan suhunya dititik tertentu dan letaknya dibagian atas dari kurva C, akan menghasilkan struktur perlit dan ferit.
- Jika ditahan suhunya pada titik tertentu bagian bawah kurva C tapi masih disisi sebelah atas garis horizontal, maka akan mendapatkan struktur mikro Bainit (lebih keras dari perlit).
- Bila ditahan suhunya pada titik tertentu dibawah garis horizontal, maka akan mendapat struktur Martensit (sangat keras dan getas).

- e) Semakin tinggi kadar karbon, maka kedua buah kurva C tersebut akan bergeser kekanan.
- f) Ukuran butir sangat dipengaruhi oleh tingginya suhu pemanasan, lamanya pemanasan dan semakin lama pemanasannya akan timbul butiran yang lebih besar. Semakin cepat pendinginan akan menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil.

2. Pendinginan terus menerus

Dalam prakteknya proses pendinginan pada pembuatan material baja dilakukan secara menerus mulai dari suhu yang lebih tinggi sampai dengan suhu rendah. Pengaruh kecepatan pendinginan terus menerus terhadap struktur mikro yang terbentuk dapat dilihat dari diagram Continuous Cooling Transformation Diagram.



Gambar 2.5 Continuous Cooling Transformation Diagram.
(www.ardra.biz/sain-teknologi.html)

Penjelasan diagram:

Kurva pendinginan (a) menunjukkan pendinginan secara kontinyu yang sangat cepat dari temperature austenite sekitar 920 celcius ke temperature 200 celcius. Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa austenite menjadi martensit. Fasa Austenite akan mulai terdekomposisi menjadi martensit pada Temperature M_s , martensite start. Sedangkan akhir pembentukan martensit akan berakhir ketika pendinginan

mencapai temperature M_f , martensite finish. Kurva pendinginan (b) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju sedang/medium dari temperature 920 celcius ke 250 celcius. Dengan laju pendinginan kontinyu ini fasa austenite terdekomposisi menjadi struktur bainit. Kurva pendinginan (c) menunjukkan pendinginan kontinyu dengan laju pendinginan lambat dari temperatur 920 celcius ke 250 celcius. Pendinginan lambat ini menyebabkan fasa austenite terdekomposisi menjadi fasa ferit dan perlit.

2.2.9 Pengujian Kekerasan

2.2.9.1 *Hardness Test*

Kekerasan suatu bahan (material) merupakan salah satu sifat mekanik (*mechanical properties*) yang penting untuk diketahui, terutama material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Kekerasan suatu bahan perlu diketahui untuk mengetahui karakteristik, serta spesifikasi dari suatu material. Dan definisi dari kekerasan sangat tergantung dari cara pengujian yang dilakukan. Berikut beberapa definisi dari kekerasan:

1. Ketahanan terhadap indentasi permanen akibat beban dinamis maupun statis - didapatkan dari uji kekerasan dengan indentasi
2. Kekerasan terhadap goresan/abrasi - didapatkan dari uji kekerasan dengan goresan/abrasi
3. Ketahanan terhadap pemotongan atau pengeboran - didapatkan dari kemampuan untuk dikerjakan (*machineability*)

Pengujian kekerasan yang banyak dilaksanakan adalah yang berdasarkan indentasi permanen atau deformasi plastis akibat beban statis. Pengujian dilakukan dengan penekanan pada benda uji (spesimen) dengan menggunakan indenter tertentu dengan gaya tekan dan waktu indentasi yang telah ditentukan. Kekerasan suatu material ditentukan oleh kedalaman maupun luas area indentasi yang dihasilkan (tergantung jenis indenter dan

jenis pengujian). Berdasarkan prinsip kerjanya metode uji kekerasan dengan cara indentasi dapat diklasifikasikan menjadi 3, yaitu Metode Brinell, Metode Vickers, Metode Rockwell. Namun yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode Brinell.

2.2.9.2 Prinsip Pengujian Metode Brinell

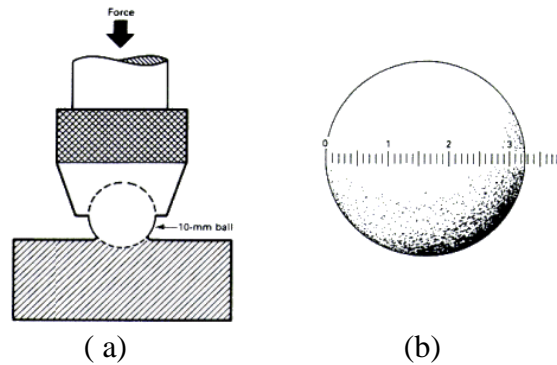
Metode ini diperkenalkan pertama kali oleh J. A. Brinell pada tahun 1900. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan indentor bola baja yang dikeraskan (*hardened steel ball*) dengan pembebanan dan waktu indentasi tertentu, sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2.6a. Hasil penekanan disebut juga tapak tekan. Tapak tekan adalah jejak berbentuk lingkaran bulat, yang harus dihitung diameternya di bawah mikroskop yang dilengkapi *software* khusus untuk mengukur tapak tekan. Contoh pengukuran tapak tekan ditunjukkan oleh Gambar 2.6b. Pengukuran nilai kekerasan suatu material diberikan oleh persamaan (9) sebagai berikut:

$$BHN = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana P adalah beban indentasi (*kgf*), D adalah diameter indentor (mm) dan d adalah diameter hasil indentasi (mm).

Prosedur standar pengujian mensyaratkan, dan yang digunakan pada laboratorium Metalurgi ITS, bola baja dengan diameter 10 mm dan beban 3000 *kgf* untuk pengujian logam-logam *ferrous*, atau 500 *kgf* untuk logam-logam *non-ferrous*. Untuk logam-logam *ferrous*, waktu indentasi biasanya sekitar 10 detik sementara untuk logam-logam *non-ferrous* sekitar 30 detik. Walaupun demikian pengaturan beban dan waktu indentasi untuk setiap material dapat pula ditentukan oleh karakteristik alat penguji. Nilai kekerasan suatu material yang dinotasikan dengan ‘HB’ tanpa tambahan angka di belakangnya menyatakan kondisi pengujian standar dengan indentor bola baja 10 mm, beban 3000 *kgf* selama waktu 1 – 15 detik. Untuk kondisi yang lain, nilai kekerasan HB diikuti angka-angka yang menyatakan

kondisi pengujian. Contoh: 75 HB 10/500/30 menyatakan nilai kekerasan Brinell sebesar 75 dihasilkan oleh suatu pengujian dengan indentor 10 mm, pembebanan 500 *kgf* selama 30 detik.



Gambar 2.6 (a) Skema indentasi uji kekerasan Brinell dan (b) pengukuran hasil indentasi

2.2.10 Persebaran Bakteri di Indonesia

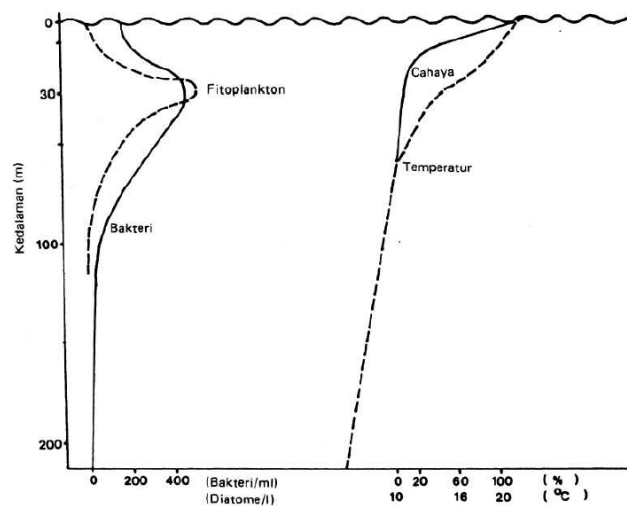
Di perairan Indonesia yang mayoritas adalah perairan dangkal dan sedang, distribusi bakteri heterotrofik dalam laut tidak merata. Hal ini disebabkan faktor sumber nutrisi, kedalaman laut dan habitat pada ekosistem laut (seperti sungai, danau, estuari, mangrove, laut dangkal dan laut dalam). Selain faktor-faktor tersebut diatas, menurut Rheinheimer (1980) mengemukakan bahwa faktor fisika laut seperti arus, pasang surut, turbulensi, gelombang dan temperatur dapat mempengaruhi distribusi bakteri heterotrofik pada ekosistem laut.

Pada zone littoral dan sublittoral umumnya kandungan bakterinya lebih tinggi dan jenisnya lebih banyak bila dibandingkan dengan zone abissal atau hadal. Di zone littoral dan sublittoral inilah bakteri heterotrofik giat melakukan aktifitas kehidupannya. Hal ini disebabkan faktor komponen abiotik seperti penetrasi cahaya matahari, temperatur, pasang surut dan bahan-bahan organik terlarut banyak tersedia.

Bakteri yang mampu mendegradasi logam di dalam laut antara lain *Thiobacillus ferrooxidans*, *T.thiooxidans*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. putida* *Bacillus Licheniformis*, *B.Cereus* (Crueger dan Crueger (1984). Namun karena geofrafis perairan Indonesia yang mayoritas adalah perairan dangkal dan sedang, bakteri yang banyak tersebar di perairan Indonesia

seperti hasil dari penelitian Agus Irianto tahun 2013 di perairan laut Yogyakarta adalah *P.fluorescens*, *E.Coli*, *T ferrooxidans*.

Menurut Agus Irianto, *Bacillus* pada dasarnya merupakan bakteri tanah, tetapi umum dijumpai di perairan tawar dan payau (kosmopolit). *Pseudomonas* dan *Vibrio* merupakan bakteri yang predominan pada perairan payau dan pantai (Austin, 1992). Kehadiran *Escherichia* (dalam penelitian ini teridentifikasi sebagai *E. coli*) sangat dimungkinkan akibat burungburung predator yang sering berada di perairan tersebut serta aktivitas masyarakat sekitar pantai. Sebagian besar dari isolat yang diperoleh adalah Gram-negatif, kecuali *Bacillus* dan *Micrococcus*. Hal itu bersesuaian dengan pendapat Rheinheimer (1991), bahwa sebagian besar bakteri perairan laut dan pantai adalah Gram-negatif.



Gambar 2.7 Distribusi vertikal kandungan bakteri heterotrofik, fitoplankton, cahaya dan temperatur di perairan laut. (Djoko Hadi Kunarso, 1988)

Gambar diatas menunjukkan distribusi vertikal kandungan bakteri heterotrofik dan fitoplankton serta temperatur dan cahaya. Pada kedalaman 10 – 15 meter kandungan fitoplankton dan bakterinya lebih tinggi bila dibandingkan dengan kedalaman yang 200 meter atau lebih . Sedangkan pada distribusi horisontal yaitu di zone neritik (perairan dangkal) densitasnya lebih padat bila dibandingkan dengan lautan bebas (oseanik).

2.2.11 Bakteri yang Digunakan Dalam Penelitian

2.2.11.1 *Pseudomonas Fluorescens*

Bakteri *P. fluorescens* (gambar 3.5) diklasifikasikan ke dalam kelas *Schazomycetes*, ordo *Pseudomonadeles*, famili *pseudomonadaceae*, genus *Pseudomonas*, spesies *P. fluorescens*. Bakteri *P. fluorescens* merupakan bakteri sel tunggal, gram negatif berbentuk batang lurus atau melengkung, mempunyai ukuran 0,5-1,0 μm x 1,5-5 μm , dapat bergerak karena *flagela* atau *motil*, tidak membentuk *spora* dan tumbuh secara *aerob*. Bakteri ini dapat menggunakan H_2 atau CO_2 sebagai sumber energi, terdapat di tanah, air limbah dan mampu mengolah sejumlah substrat organik, umumnya banyak berperan dalam proses biotransformasi misalnya dalam mendegradasi minyak. (Herman Pratikno, 2016)

P. fluorescens resisten tertiadap logam berat seperti Pb, Cd dan Cr, mampu menurunkan toksisitas Cr^{6+} menjadi Cr^3 yang kurang toksik. Bakteri ini menghasilkan produk metabolit seperti asam organik dan metabolit lain seperti H_2S dan ligan yang dapat menghilangkan (*remove*) ion-ion logam berat dari larutan dan atau merubah menjadi spesies yang kurang toksik, bakteri tersebut juga telah bertiasil digunakan dalam meremediasi ion kadmium dalam larutan (Misra dalam Lederberg 1992).

Malekzadeh *et al* (1996) mengisolasi bakteri *P. fluorescens* dari limbah elektroplating dan bakteri tersebut mampu mengikat kation logam uranium, tembaga, timbal dan ion-ion lain dari limbah tercemar logam berat. (Ishak Isa, dkk, 2013)



Gambar 2.8. *Pseudomonas fluorescens* (Herman Pratikno, 2016)

2.2.11.2 *Escherichia coli*

Bakteri *E. coli* dapat diklasifikasikan ke dalam divisi Schizophyta kelas Schazomycetes, ordo Eubacteriales, Genus *Escherichia*, Spesies *E. coli*. Bakteri *E. coli* merupakan bakteri yang berbentuk batang lurus mempunyai ukuran 1,1-1,5 x 2-6 μm , bersifat gram negatif, tidak berkapsul dan dapat bergerak aktif (motil), dapat memfermentasikan berbagai macam karbohidrat menjadi asam dan gas. Bakteri ini pada suasana anaerob terjadi fermentasi dan pada aerob terjadi siklus asam karboksilat dan transport elektron untuk pembentukan energi. *E. coli* dapat memproduksi 2 macam enterotoksin, yaitu enterotoksin tidak tahan panas (*heat labile enterotoxin*) yang bersifat sebagai antigen dan mekanisme kerjanya merangsang keluarnya enzim adenilat siklase yang terdapat di dalam sel epitel mikosa usus halus yang menyebabkan peningkatan aktivitas enzim tersebut dan terjadinya peningkatan permeabilitas sel epitel usus sehingga terjadi akumulasi cairan di dalam usus dan berakhir dengan diare. Selain itu enterotoksin tahan panas (*heat stable enterotoxin*) yang mempunyai sifat tidak sebagai antigen dan mekanisme kerjanya merangsang keluarnya enzim guanilat siklase yang menghasilkan siklik QManosin monofosfat yang menyebabkan gangguan absorpsi klorida dan natrium dan dapat menurunkan motilitas usus halus.

Menurut Ishak Isa, dkk, *E. coli* dalam aktivitas metabolitnya menghasilkan produk asam organik, pigmen, ligan dan H_2S yang dapat menghilangkan (remove) ion-ion logam berat dari larutan dan merubah

menjadi spesies yang kurang toksik. Bakteri ini telah terbukti mampu menghilangkan Hg^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} dari limbah, tanah dan sedimen atau larutan yang tercemar logam berat tersebut (Chen dan Wilson, 1997).



Gambar 2.9. *Escherichia Coli* (Herman Pratikno, 2016)

2.2.11.3 *Thiobacillus ferrooxidans*

Bakteri *T. ferrooxidans* dapat digolongkan ke dalam bakteri kemotrofik gram negatif, sel-selnya kecil berbentuk batang mempunyai ukuran $0,5 \times 1-4 \mu\text{m}$, dapat bergerak, autotrof fakultatif, aerob. Bakteri ini mampu mendapatkan energi yang berasal dari oksidasi satu atau lebih senyawa sulfur tereduksi seperti sulfida, tiosulfat atau dari oksidasi besi ferro (Fe^{2+}) menjadi feri (Fe^{3+}). Produk akhir dari bakteri ini menghasilkan senyawa sulfat dari senyawa sulfur yang dioksidasi. Temperatur optimum sekitar $28-30^\circ\text{C}$, pH untuk pertumbuhan 1,4-6,0 dengan pH optimum 2,5-5,8. Bakteri ini dijumpai pada lumpur, air laut, air tanah, tanah, limbah, daerah perairan asam dari tambang biji logam yang mengandung sulfida logam, seperti FeS , PbS , serta dapat merubah biji logam sulfida dan unsur belerang menjadi sulfat logam berat yang dapat larut dalam air.

Bakteri *T. ferrooxidans* dalam metabolismenya menghasilkan asam organik, anorganik dan ligan, berhasil digunakan untuk meremediasi logam Cu, Ni dan mengekstrak emas (Au) dan krom (Cr) yang tercemar logam. (Ishak Isa, dkk, 2013)

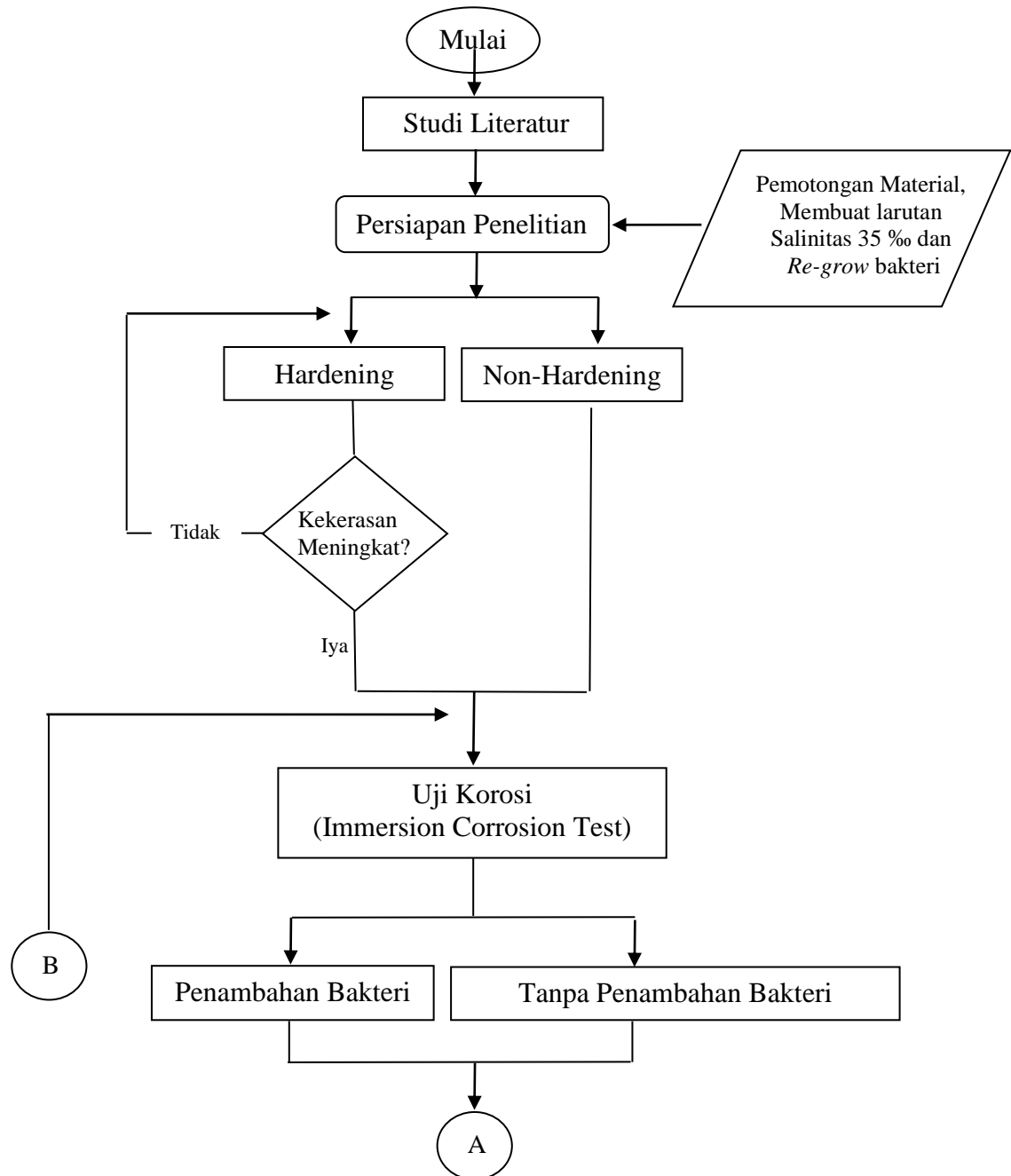


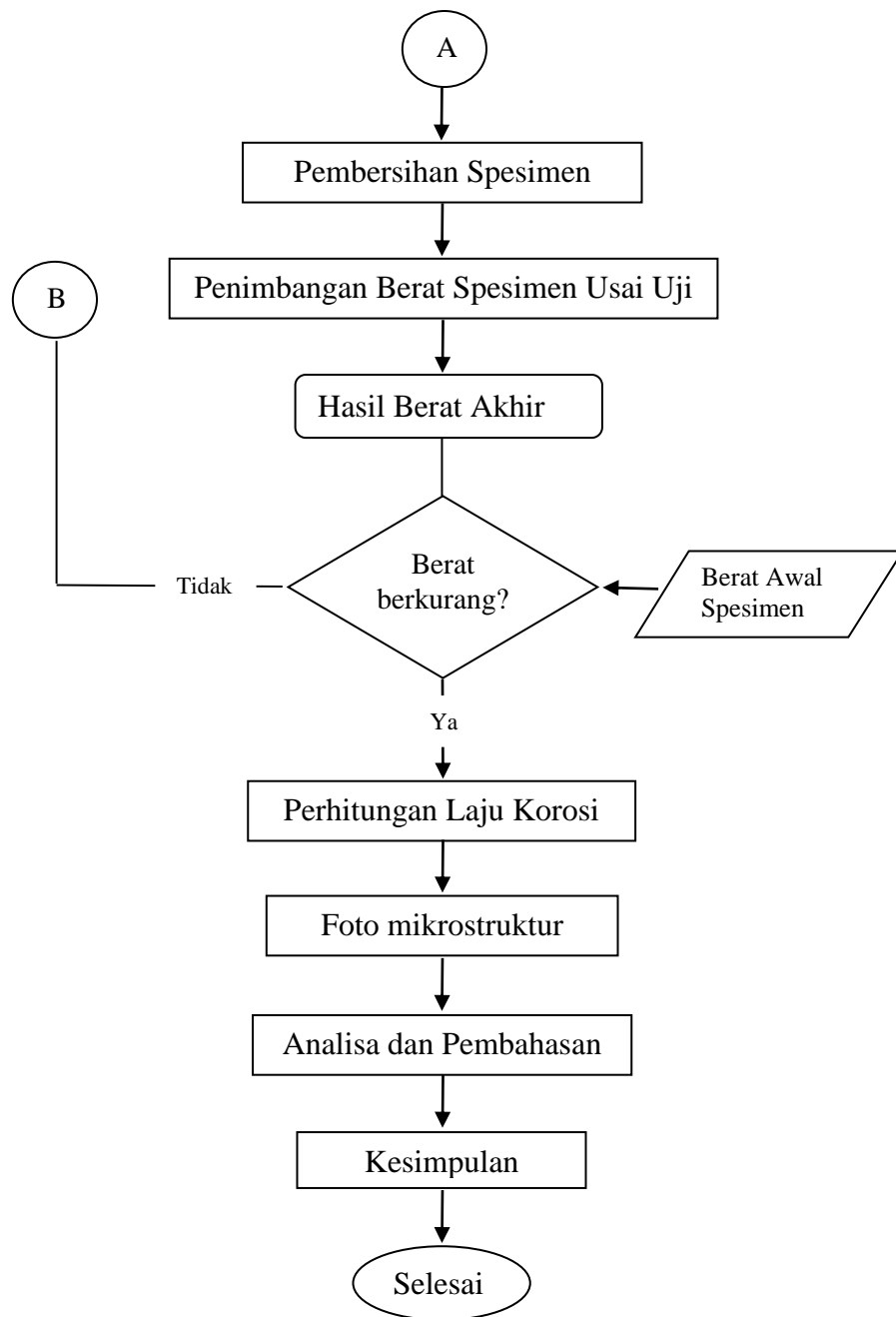
Gambar 2.10. *Thiobacillus ferrooxidans* (Herman Pratikno, 2016)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan cara mencari dan mempelajari, serta memahami jurnal, buku-buku, dan laporan tugas akhir alumni ITS maupun dari institusi lain yang berkaitan dengan rumusan masalah, dasar teori dan data-data yang digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

3.2.2 Persiapan Penelitian

Persiapan penelitian dilakukan dengan mempersiapkan prosedur kerja mengenai penelitian laju korosi material pipa baja. Persiapan dilakukan di laboratorium milik Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS. Selain itu dalam tahap ini dipersiapkan alat serta bahan yang dibutuhkan selama pengujian laju korosi berlangsung.

I. Peralatan penelitian

Peralatan yang digunakan dalam tugas akhir ini antara lain :

- a. Benang atau tali
- b. Gelas ukur
- c. Beaker glass
- d. Pipet tetes
- e. Auto Clave
- f. Centrifuge
- g. bunsen
- h. Kertas amplas
- i. Timbangan digital
- j. Lemari Pendingin
- k. Spatula
- l. Penggaris
- m. Tabung elenmeyer
- n. Kertas coklat
- o. Kapas lemak
- p. Karet
- q. Cawan petri
- r. Spektrometer

- s. Lemari Penyimpanan Bakteri

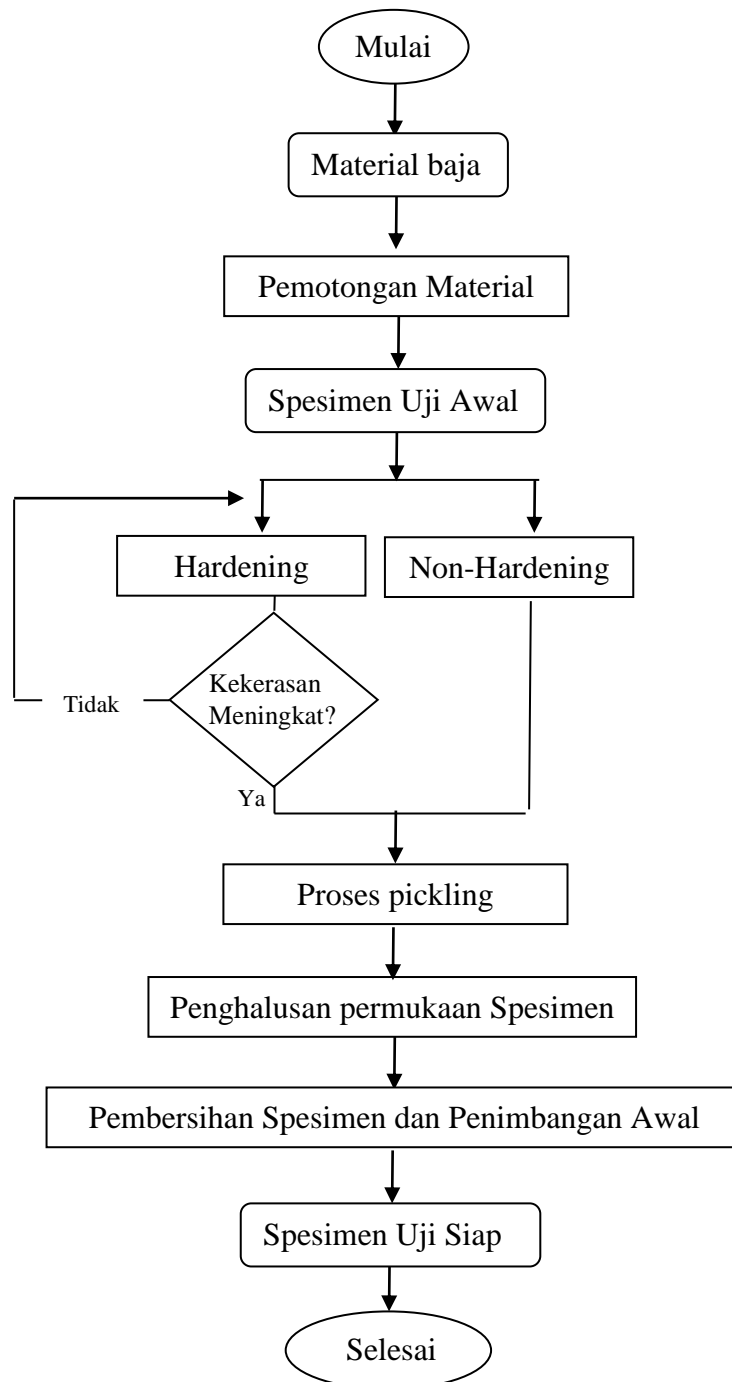
II. Bahan penelitian

Beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini antara lain :

1. Spesimen uji : Pipa ASTM A53 dan Pipa API 5L grade B
2. Larutan HCl
3. NaCl
4. Aquades
5. Natrium Agar
6. Natrium Borth
7. Bakteri : *T. ferrooxidans*, *Pseudomonas Fluorescens* dan *E. Coli*

3.2.3 Persiapan Spesimen Uji

Spesimen yang digunakan adalah bagian dari pipa baja ASTM A53 dan Pipa API 5L grade B. Tahapan persiapan spesimen yang dilakukan dapat dilihat pada diagram alir berikut.

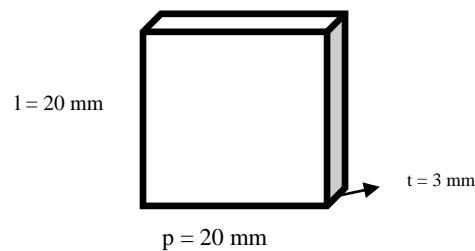


Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Spesimen

Proses pada diagram alir dijelaskan lebih lanjut dibawah ini :

1. Pemotongan Material

Menurut penelitian yang dilakukan Herman Pratikno (2016) yang berdasarkan American Society of Mechanical Engineers (ASME), material dipotong dengan luas area $+2 \text{ cm}^2$. Dalam penelitian ini material pipa baja merupakan pipa berbentuk silinder yang harus dirolling lalu dipotong menjadi empat bagian dengan ukuran $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$



Gambar 3.21 Dimensi Spesimen untuk pengujian laju korosi



Gambar 3.22 Proses Pemotongan Material

Proses pemotongan dilakukan di bengkel D3 Teknik Mesin ITS. Setelah material dipotong, pinggiran material dihaluskan dari kerak hingga rata dan tidak tajam, agar pada saat terjadi korosi tidak berkonsentrasi di bagian tersebut.

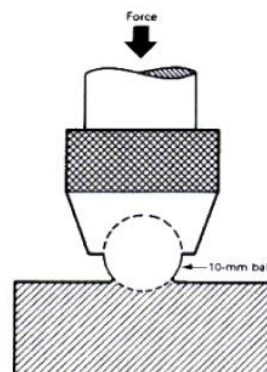
2. Proses Pengerasan (*Hardening*)

Proses pengerasan menggunakan furnace. Furnace dipersiapkan pada suhu 800 C. Suhu 800 adalah dimana material baja karbon rendah (kadar karbon 0.5) sudah memasuki fase austenit. Yaitu fase larutan padat intertisi antara karbon dan besi yang memiliki sifat terkeras pada material. Hal ini merujuk pada penelitian herman pratikno tahun 2007 tentang proses austempering pada baja. Dan dilakukan pendinginan cepat pada media air (quenching). Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa austenite menjadi martensit yang memiliki sifat kuat tetapi getas. (Budinski, 1999)



Gambar 3.23 (i) dapur pemanas (ii) proses pendinginan media air

3. Proses pengujian kekerasan



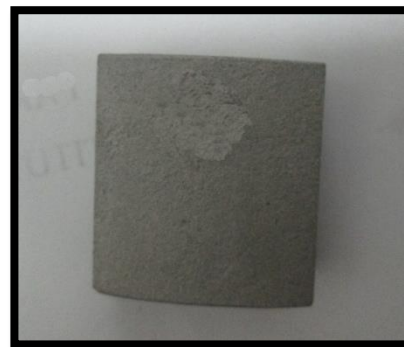
Gambar 3.24 (i) alat uji kekerasan brinell (ii) skema uji kekerasan

Menurut prosedur yang ditetapkan laboratorium Teknik Material ITS, prosedur standar pengujian mensyaratkan bola baja dengan diameter 10 mm dan beban 3000 kg untuk pengujian logam-logam *ferrous*, atau 500 kg untuk logam-logam *non-ferrous*. Untuk logam-logam *ferrous*, waktu indentasi biasanya sekitar 10 detik sementara untuk logam-logam *non-ferrous* sekitar 30 detik. Walaupun demikian pengaturan beban dan waktu indentasi untuk setiap material dapat pula ditentukan oleh karakteristik alat penguji. Nilai kekerasan suatu material yang dinotasikan dengan 'HB' tanpa tambahan angka di belakangnya menyatakan kondisi pengujian standar dengan indenter bola baja 10 mm, beban 3000 kgf selama waktu 1 – 15 detik. Dalam penelitian ini dikarenakan material uji cukup kecil, digunakan diameter bola baja 1 mm dengan beban 62.5 kg.

4. Proses Pickling



(i)

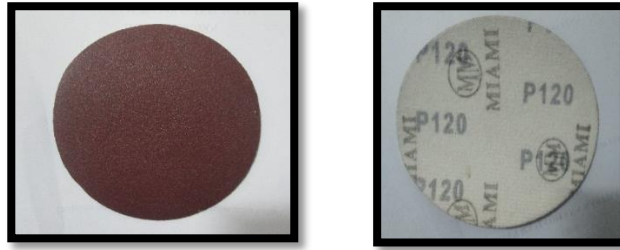


(ii)

Gambar 3.25 (i) Proses *pickling* menggunakan HCl, (ii) hasil dari proses pickling

Spesimen direndam selama 3 menit ke dalam larutan HCl untuk menghilangkan kerak, lapisan coating, lapisan yang sudah terkorosi, dan kerak lainnya yang menempel di spesimen. Diperlukan alat pelindung diri berupa *gloves*, kaca mata dan masker dalam proses ini.

5. Penghalusan Permukaan Spesimen



Gambar 3.26 Amplas nomor 120

Penghalusan permukaan spesimen dengan menggunakan kertas amplas nomor #120. Pengamplasan bertujuan untuk menghilangkan kerak dan lebih memperhalus permukaan spesimen.



Gambar 3.27 Hasil pengamplasan dari Spesimen uji

6. Pembersihan Spesimen dan Penimbangan Awal



Gambar 3.28 Timbangan analitik

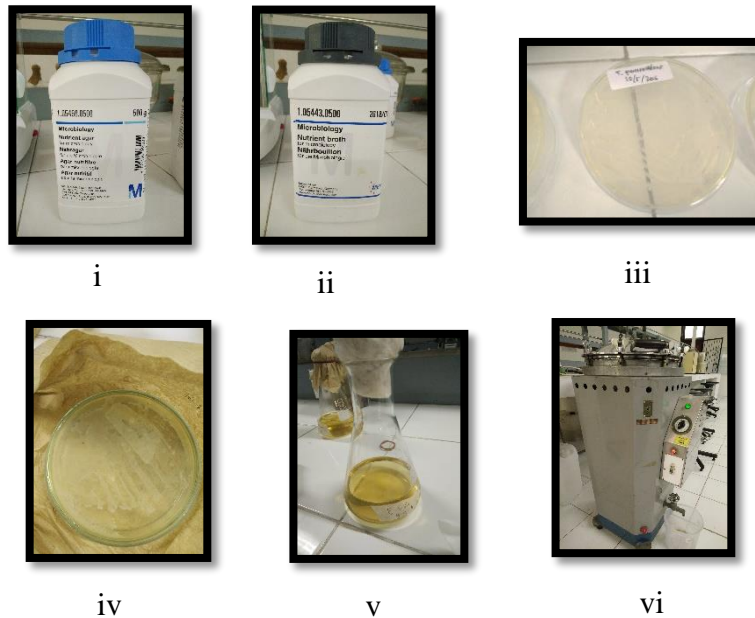
Setelah dibersihkan dengan air dan tisu, spesimen ditimbang dengan timbangan analitik di laboratorium remediasi lingkungan untuk mengetahui berat awal dari spesimen.

3.2.4 Persiapan bakteri

Persiapan bakteri uji dilakukan dengan inokulasi kembali stok bakteri uji yang dipilih. Inokulasi dilakukan dengan teknik *plate streaking* (harley dan Prescott, 2002) pada media yang sesuai. Bakteri yang digunakan untuk pengujian biokorosi adalah bakteri yang berumur kurang lebih 24 jam. (Herman Pratikno, 2016)

3.2.4.1 Tahapan *re-growth* isolat bakteri (penumbuhan bakteri kembali)

1. Bakteri induk, media NA, dan semua peralatan inokulasi disiapkan sebelum dilakukan proses peremajaan, dan dilakukan sterilisasi Alat uji dan Media di *autoclave*.



Gambar 3.29 (i) NA powder, (ii) NB powder, (iii) Bakteri induk, (iv) Media NA, (v) media NB, (vi) autoclave

Untuk pembuatan media nutrient Agar (NA) dan pembuatan Nutrient Broth (NB) akan dijelaskan lebih lanjutan pada lampiran

2. Jarum ose yang akan digunakan dipanaskan hingga membara kemudian didinginkan dengan cara diangin-anginkan.



Gambar 3.30 Pemanasan jarum ose pada bunsen

3. Penutup tabung dibuka kemudian dilewatkan pada api sebanyak dua kali.
4. Diambil ose bakteri induk dengan cara menggores ose pada bakteri induk.
5. Setelah selesai, mulut tabung dilewatkan pada api dua kali dan ditutup kembali dengan kapas lemak.
6. Penutup NA dibuka, kemudian dilewatkan api sebanyak dua kali.
7. Jarum ose yang sudah mengandung bakteri dioleskan secara zig-zag pada media NA.
8. Setelah selesai, media NA dilewatkan pada api dua kali dan ditutup kembali.
9. Semua perlakuan dari tahap 1-8 harus dilakukan secara aseptik, yaitu dekat dengan api (maksimum 20 cm dari api).
10. Jarum ose dipanaskan hingga membara untuk membunuh semua bakteri yang menempel.
11. Media NA disimpan pada inkubator dengan suhu 37° selama 24 jam.



Gambar 3.31 Penyimpanan bakteri di inkubator

12. Setelah 24 jam, bakteri dan jamur siap digunakan untuk penelitian.

3.2.4.2 Tahapan inokulasi bakteri (pemindahan bakteri ke media uji).

1. Bakteri yang masing-masing berumur 24 jam yang telah diinokulasikan di media agar NA diambil sebanyak 5 ose kemudian dipindahkan ke dalam tabung erlenmeyer bervolume 250 ml yang berisi media NB. Tahapan ini berdasarkan Deepali (2011) yang telah disesuaikan.



Gambar 3.32 media NB

2. Jika bakteri dan jamur terlihat masih menggumpal dilakukan pengadukan secara manual dengan cara menggoyangkan masing-masing erlenmeyer
3. Masing-masing erlenmeyer yang telah berisi bakteri dan jamur di *shaker* 150 rpm hingga kekeruhan terlihat pada larutan. (5 jam s.d. 24 jam)



Gambar 3.33 Media NB diaduk menggunakan *shaker*

4. Setelah di *shaker*, diambil sebanyak 50 ml media NB yang masing-masing telah ditumbuhi bakteri dan jamur selanjutnya dituangkan pada tabung *centrifuge*.



Gambar 3.34 tabung *centrifuge* berisi bakteri

5. Dilakukan proses sentrifugasi selama 15 menit dengan putaran sebanyak 4000 rpm (Purwanti et al., 2015). Tujuannya adalah mengendapkan koloni bakteri dari larutan.



Gambar 3.35 *Centrifuge*

6. Larutan yang tidak berisi bakteri dibuang dari tabung *centrifuge*.
7. Setiap tabung *centrifuge* yang berisi masing-masing endapan (pellet) bakteri dan jamur dicuci dengan air salin 8.5% (NaCl) steril tanpa dikocok sebanyak 2 kali.
8. Hasil dari pencucian kemudian ditambahkan dengan air salin 8.5% (NaCl) steril sebanyak 30 ml, kemudian dikocok manual hingga tercampur dengan masing-masing endapan bakteri dan jamur.



Gambar 3.36 pellet bakteri yang sudah ditambahkan air salin

9. Diukur nilai *Optical Density* (OD) dengan spektrofotometer yang memiliki panjang gelombang 600 nm (Kumar et al., 2014).



Gambar 3.37 spektrofotometer

10. Dilakukan *trial and error* absorbansi hingga didapatkan nilai absorbansi sebesar ± 1 A (Purwanti et al., 2015).



Gambar 3.38 bakteri yang telah diketahui OD nya

11. Bakteri dan jamur yang masing-masing telah melewati tahap *trial and error* absorbansi dimasukkan ke dalam reaktor dengan pipet skala sebanyak 5 % dari larutan reaktor.

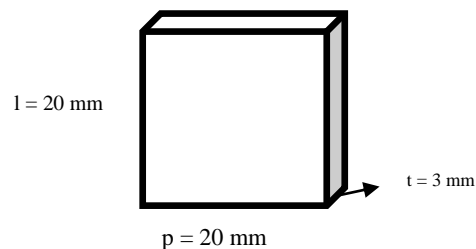
3.2.5 Persiapan Larutan Uji

Pada penelitian ini akan digunakan larutan kimia sebagai pengganti air laut dengan salinitas 35 ‰. Salinitas 35 ‰ adalah salinitas pada kedalaman laut sedang, dimana mikroorganisme banyak ditemukan pada kedalaman ini, termasuk bakteri. Dalam pengujian rendam (*immersion test*) skala laboratorium-, berdasarkan ASTM G31-72, jumlah volume larutan untuk perendaman minimal adalah :

$$\text{Volume Larutan} = (0.2 \text{ s.d. } 0.4) \times \text{Luas permukaan}$$

Oleh karena itu, perlu dihitung luas permukaan spesimen uji. Persamaan dibawah ini adalah untuk menghitung luas permukaan spesimen uji.

$$\text{Luas permukaan} = (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t)$$



Keterangan :

p = Panjang spesimen (mm)

l = lebar spesimen (mm)

t = Tebal spesimen (mm)

Gambar 3.39 ilustrasi spesimen uji

Berdasarkan rumus yang ada dan dimensi spesimen yang telah diukur sebelumnya, maka dapat dihitung jumlah volume larutan yang digunakan dalam pengujian :

$$\begin{aligned}\text{Luas permukaan} &= (2 \times p \times l) + (2 \times p \times t) + (2 \times l \times t) \\ &= (2 \times 20 \times 20) + (2 \times 20 \times 3) + (2 \times 20 \times 3) \\ &= 1040 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume Larutan} &= (0.2 \text{ s.d. } 0.4) \times \text{Luas permukaan} \\ &= (0.2 \times 1040) \text{ s.d. } (0.4 \times 1040) \\ &= 208 \text{ ml s.d. } 416 \text{ ml}\end{aligned}$$

Komposisi kimia pengganti air laut sesuai dengan standar (ASTM D1141-90, 1994). Komposisi kimia larutan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Komposisi Kimia Pengganti Air Laut ^{A B} (ASTM D1141-90)

Table 1: Chemical composition of artificial seawater ^{A,B} (ASTM D1 141-90) for 35‰	
Solution	Concentration g L ⁻¹
NaCl	24.53
MgCl ₂	5.20
Na ₂ SO ₄	4.09
CaCl ₂	1.16
KCl	0.695
NaHCO ₃	0.201
KBr	0.101
H ₃ BO ₃	0.027
SrCl ₂	0.025
NaF	0.003
Ba(NO ₃) ₂	0.0000994
Mn(NO ₃) ₂	0.0000340
Cu(NO ₃) ₂	0.0000308
Zn(NO ₃) ₂	0.0000096
Pb(NO ₃) ₂	0.0000066
AgNO ₃	0.00000049

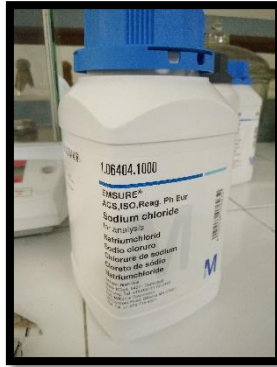
^AChlorinity: 19.38, ^BpH (after suitable with 0.1 N sodium hydroxide): 8.2

Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat diperoleh bahwa larutan yang digunakan untuk merendam spesimen dengan ukuran 20 x 20 x 3 mm yakni sebesar 208 ml s.d. 416 ml.

Karena komposisi NaCl adalah yang paling dominan, yaitu sebesar 24 g/L, maka komposisi yang lainnya dapat diabaikan. Namun dengan menambahkan konsentrasi NaCl yang terlarut dalam 1 Liter larutan air laut buatan.

Proses pembuatan air laut buatan salinitas 35 ‰ yaitu sebagai berikut.

1. Persiapkan bahan dan peralatan yaitu Aquades, NaCl (powder), spatula, neraca analitik, gelas ukur, wadah berukuran 1 Liter.



(i)



(ii)

Gambar 3.40 (i) NaCl Powder (ii) wadah larutan

2. Penimbangan NaCl seberat 35 gram dengan menggunakan spatula pada neraca analitik.



Gambar 3.41 Timbangan analitik

3. Tuangkan NaCl pada wadah dan tuangkan Aquades pada wadah yang berisi NaCl sampai bervolume 1 Liter.



Gambar 3.42 Larutan NaCl salinitas 35 ‰

4. Campurkan dengan cara dikocok manual dan disterilkan di autoclave.



Gambar 3.43 Autoclave

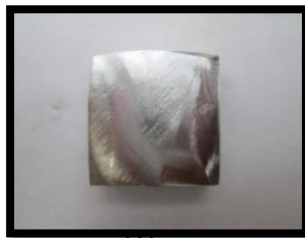
3.2.6 Proses Pengujian Biokorosi

Pengujian ketahanan biokorosi dilakukan dengan variasi perlakuan, yaitu :

- a. Tanpa pengaruh bakteri, yaitu berupa uji ketahanan korosi pada lingkungan laut tanpa penambahan bakteri.
- b. Dengan penambahan bakteri. Pada eksperimen ini akan membandingkan laju korosi pada tiap spesimen uji dalam lingkungan laut salinitas 35 ‰ dengan penambahan beberapa jenis bakteri.

Prosedur Pengujian Korosi (*Immersion Corrosion Test*) meliputi :

1. Spesimen uji berupa material logam ASTM A53 dan API 5L Grade B.



(i)

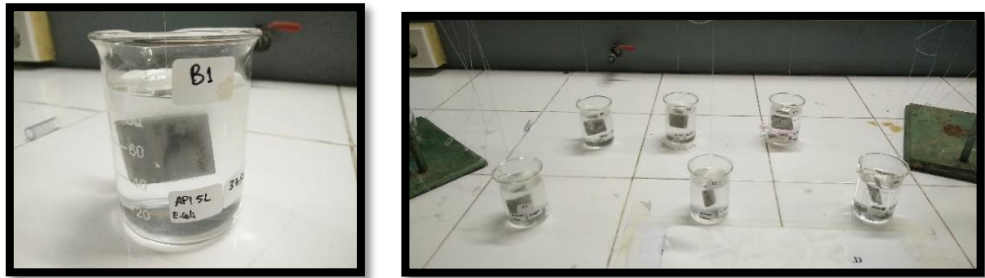


(ii)

Gambar 3.44 Material (i) API 5L dan (ii) ASTM A53

2. Larutan yang akan digunakan adalah larutan pengganti air laut dengan salinitas 35 ‰ sebanyak 200 ml untuk satu spesimen uji.
3. Larutan dituangkan ke dalam gelas beker.

4. Spesimen dimasukkan dalam larutan selama 15 hari, dengan pencatatan laju korosi tiap 3 hari sekali.



Gambar 3.45 Perendaman material pada media biokorosi

5. Setelah percobaan, spesimen dibersihkan dengan alkohol dan dikeringkan dengan *hair dryer*. Dengan tujuan, residu hasil korosi terlepas dan spesimen uji cepat kering.
6. Spesimen uji ditimbang sebelum dan sesudah pengujian untuk menghitung *weight loss* atau berat yang hilang akibat terkorosi.

3.2.7 Pembersihan Spesimen

Setelah proses uji korosi, dilakukan pembersihan dengan air yang mengalir dan dikeringkan dengan *hair dryer* agar sisa-sisa material korosi hilang dan air yang menempel menjadi kering



(i)

(ii)

Gambar 3.46 (i) Hair dryer (ii) spesimen uji setelah dikeringkan

3.2.8 Penimbangan berat Spesimen

Setelah spesimen dibersihkan, maka dilakukan penimbangan dengan timbangan analitik. Hal ini dilakukan dengan tujuan memperoleh data tentang berat yang hilang saat proses korosi.

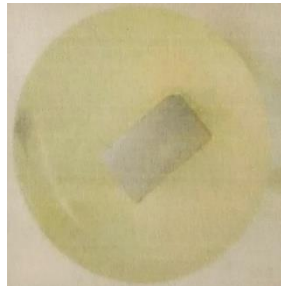
3.2.9 Pengamatan Struktur Mikro

Setelah dilakukan percobaan, spesimen uji difoto secara mikro menggunakan mikroskop di laboratorium Metalurgi, Teknik Material dan metalurgi ITS.



Gambar 3.47 mikroskop struktur mikro

Sebelum dilakukan foto uji makro, bagian tepi spesimen dibingkai dengan resin, agar terlihat bagian tepi dan bagian dalam spesimen.



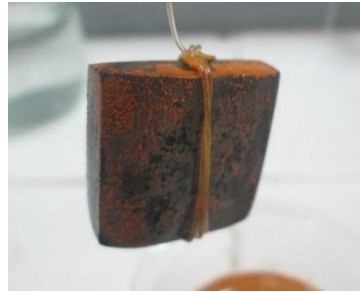
Gambar 3.48 spesimen dengan tepian resin

Setelah dibingkai dengan resin, spesimen di-*polishing* dengan mesin polisher. Nomor amplas yang digunakan yaitu #80, #120, #240, #320, #500, #600, #800, #1000, #1200, #1500, #2000.

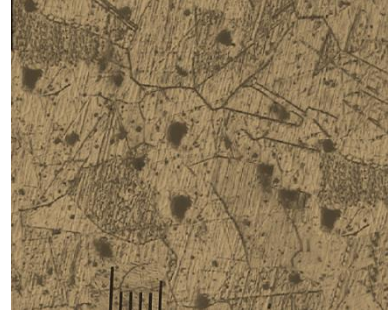


Gambar 3.49 Grinding-Polishing Machine

Sebelum dilakukan pemfotoan, spesimen dicelupkan ke larutan nital. Yaitu campuran alkohol 98% dan HNO₃ 2% agar lebih terlihat struktur mikro dari spesimen uji.



(i)



(ii)

Gambar 3.50 (i) Foto spesimen setelah terkorosi,
(ii) foto mikrostruktur spesimen yang terkorosi

3.2.10 Analisa Berat

Dilakukan analisa terhadap berat awal dan berat akhir. Jika berat akhir sama dengan atau lebih dari berat awal spesimen, maka perlu dilakukan uji korosi ulang. Apabila terjadi penurunan berat, maka dilanjutkan ke perhitungan laju korosi

3.2.11 Perhitungan Laju Korosi

Setelah dilakukan proses perendaman ke dalam larutan dan dibersihkan, spesimen ditimbang beratnya. Setelah itu, dilakukan perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode kehilangan berat atau *weight loss*. Rumus perhitungan laju korosi dengan menggunakan metode kehilangan berat sesuai dengan ASTM G1-72 yaitu :

$$Laju\ Korosi = \frac{K \times W}{D \times A \times T}$$

W	= Kehilangan berat (mg)	A	= Luas permukaan yang
K	= konstanta (mpy = 3,45 x 10 ⁶)		terkorosi (m ²)
D	= Kerapatan benda uji (g/cm ³)	T	= Waktu exposure (jam)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Material Uji

4.1.1 Pengerasan Material

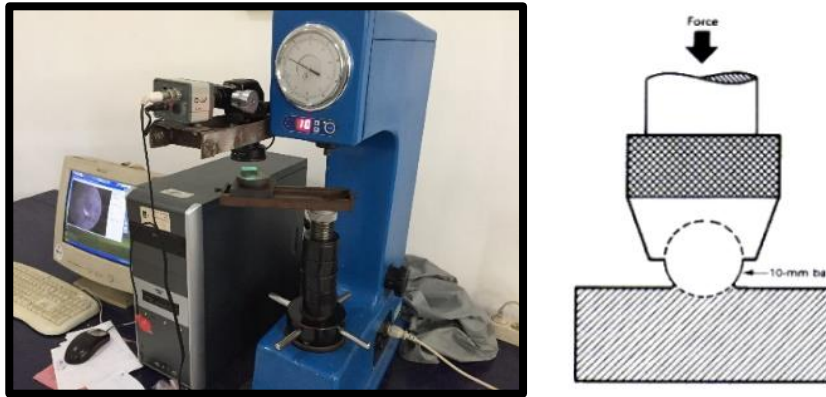
Proses pengerasan menggunakan furnace. Furnace dipersiapkan pada suhu 800 C. Suhu 800 adalah dimana material baja karbon rendah (kadar karbon 0.5) sudah memasuki fase austenit. Yaitu fase larutan padat intertisi antara karbon dan besi yang memiliki sifat terkeras pada material. Dan dilakukan pendinginan cepat, pada media air (*quenching*). Laju pendinginan cepat ini menghasilkan dekomposisi fasa austenite menjadi martensit yang memiliki sifat kuat tetapi getas. (Budinski, 1999).

Hardening material dalam penelitian ini memang menghasilkan kenaikan kekerasan yang signifikan. Tetapi di kondisi lapangan, proses hardening dengan cara pemanasan pada pipa baja yang siap pakai tidak dilakukan kembali. Karena biaya yang diperlukan untuk hal itu sangat besar. Namun dalam penelitian ini dilakukan pengerasan kembali pada baja yang sudah siap pakai untuk mengetahui ketahanan korosi dibandingkan pipa baja tanpa proses *hardening*.



Gambar 4.1 (i) dapur pemanas atau *furnace* (ii) proses pendinginan cepat media air

4.1.2 Tes kekerasan Material



Gambar 4.2 (i) alat uji kekerasan brinell (ii) skema uji kekerasan

Tabel 4.1 Hasil Tes Kekerasan Material Uji

Nama	Perlakuan	Hasil (brinell scale)
API 5L	Original	126
	Heat Treatment	150
ASTM A53	Original	148
	Heat Treatment	171

Tes kekerasan menggunakan Metode Brinell. Dari hasil tes kekerasan pada tabel diatas terlihat peningkatan yang signifikan dari material. Proses heat treatment memberikan dampak terhadap material, yaitu terjadinya peningkatan kekerasan pada material.

4.2 Hasil Pengembangbiakan Bakteri (*re-growth* isolat bakteri)

Setelah dilakukan *Re-growth* bakteri *Pseudomonas Fluorescens* dan *E. Colli*, maka dapat dilakukan penambahan bakteri sebanyak 5 % pada media korosi yang berupa air laut buatan dengan salinitas 35 ‰.

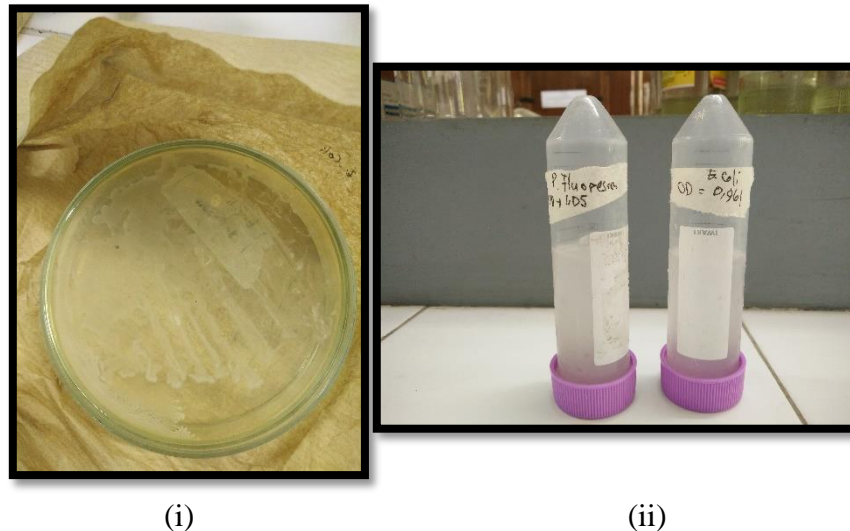
Bakteri-bakteri tersebut dikembangkan di laboratorium mikrobiologi Teknik Lingkungan ITS. Bakteri tersebut dipilih karena mampu mendegradasi pipa baja yang berada di laut. Bakteri-bakteri tersebut berperan aktif sebagai komposer atau pengurai di laut. Sebagai contoh *Pseudomonas Fluorescens* merupakan bakteri yang mampu mengurai bahan yang mengandung besi.

Adapun Perhitungan jumlah bakteri dengan menggunakan metode Turbidimetri atau kekeruhan. Metode ini adalah metode yang cepat untuk menghitung jumlah bakteri dalam suatu larutan menggunakan spektrofotometer. Diukur nilai kekeruhannya atau *Optical Density* (OD) dengan spektrofotometer yang memiliki panjang gelombang 600 nm. (Kumar et al., 2014).

Dilakukan trial and error absorbansi hingga didapatkan nilai absorbansi sebesar ± 1 A . Menurut (Harmin S., 2016) dalam penelitiannya menyatakan, dimana nilai OD ± 1 merupakan fase dimana bakteri berkembang dengan cepat. Sel mikroorganisme mengalami proses pembelahan diri dengan laju yang sesuai dengan kemampuannya dalam menyerap nutrisi dari lingkungan. Disebut juga dengan fase eksponensial karena pembelahan sel termasuk persamaan ekponensial.

Yang berarti OD ± 1 memiliki jumlah bakteri setara dengan 1.5×10^9 atau 1.5 milyar bakteri untuk setiap milimeternya. Untuk tahapan re-growth isolat bakteri dijelaskan di bawah ini.

4.2.1 Hasil Pengembangbiakan *Escherichia Coli*



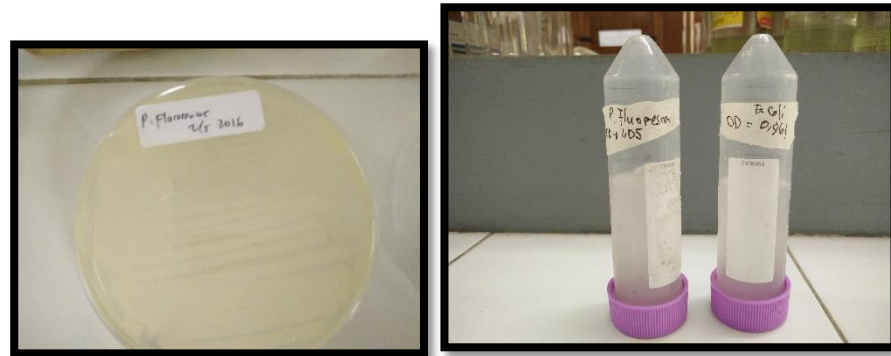
Gambar 4.3 Hasil regrowth *Escherichia Coli*

(i) *E. Coli* pada media NA, (ii) *E. Coli* siap pakai

Bakteri *Escherichia Coli* yang dihasilkan dari proses pengembangbiakan kembali (*regrowth*) berwarna putih dan membentuk koloni. Pada cawan petri terlihat jelas bahwa bakteri *Escherichia Coli* membentuk pola garis-garis sesuai dengan metode penanaman yang dilakukan. Hal ini sama dengan hasil dari penelitian Prof. Ishak Isa dalam penelitiannya tentang bioleaching bakteri tahun 2013. Dari pembacaan di spektrometer bakteri *Escherichia Coli* memiliki OD 0.961. Menurut pengamatan penulis, bakteri *E. coli* membentuk koloni yang bundar, cembung, dan halus dengan tepi yang dapat terlihat jelas. Terdapat cairan berwarna kuning pudar di sela sela koloni, cairan inilah yang merupakan hasil dari metabolitnya. Yaitu produk asam organik yang dapat menghilangkan ion-ion logam berat dari larutan dan dapat mempercepat degradasi dari suatu logam. (Ishak Isa, dkk, 2013).

Bakteri ini telah terbukti mampu menghilangkan Hg^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} dari limbah, tanah dan sedimen atau larutan yang tercemar logam berat tersebut (Chen dan Wilson, 1997).

4.2.2 Hasil Pengembangbiakan *Pseudomonas Fluorescens*



Gambar 4.4 Hasil regrowth *Pseudomonas Fluorescens*

(i) *P. Fluorescens* pada media NA, (ii) *P. Fluorescens* siap pakai

Tidak berbeda jauh dari bakteri *Escherichia Coli*, bakteri *Pseudomonas Fluorescens* berwarna putih dan membentuk koloni. Pada cawan petri terlihat jelas bahwa bakteri *Escherichia Coli* membentuk pola garis-garis sesuai dengan metode penanaman yang dilakukan. Hal ini sama dengan hasil dari penelitian Prof. Ishak Isa dalam penelitiannya tentang bioleaching bakteri tahun 2013. Dari pembacaan di spektrometer bakteri *Pseudomonas Fluorescens* memiliki OD 1.05. Menurut pengamatan penulis, bakteri *Pseudomonas Fluorescens* membentuk koloni yang bundar, cembung, dan halus dengan tepi yang dapat terlihat jelas. Terdapat cairan berwarna kuning pudar di sela sela koloni, cairan inilah yang merupakan hasil dari metabolitnya. Yaitu produk asam organik yang dapat menghilangkan ion-ion logam berat dari larutan dan dapat mempercepat degradasi dari suatu logam. Menurut (Ishak Isa, dkk, 2013) bakteri ini mampu mengikat kation logam uranium, tembaga, timbal dan ion-ion lain dari limbah tercemar logam berat.

4.2.3 Hasil Pengembangbiakan *Thiobacillus Ferrooxidans*



Gambar 4.5 Hasil regrowth *Pseudomonas Fluorescens*

(i) *P. Fluorescens* pada media NA, (ii) *P. Fluorescens* siap pakai

Tidak berbeda jauh dari bakteri *Escherichia Coli*, dan *Pseudomonas Fluorescens*, bakteri *Pseudomonas Fluorescens* berwarna putih dan membentuk koloni. Pada cawan petri terlihat jelas bahwa bakteri *Escherichia Coli* membentuk pola garis-garis sesuai dengan metode penanaman yang dilakukan. Hal ini sama dengan hasil dari penelitian Prof. Ishak Isa dalam penelitiannya tentang bioleaching bakteri tahun 2013. Dari pembacaan di spektrometer bakteri *Pseudomonas Fluorescens* memiliki OD 1.04. Menurut pengamatan penulis, bakteri *Pseudomonas Fluorescens* membentuk koloni yang bundar, cembung, dan halus dengan tepi yang dapat terlihat jelas. Terdapat cairan berwarna kuning pudar di sela sela koloni, cairan inilah yang merupakan hasil dari metabolitnya. Yaitu produk asam organik yang dapat menghilangkan ion-ion logam berat dari larutan dan dapat mempercepat degradasi dari suatu logam. Menurut (Ishak Isa, dkk, 2013) bakteri ini mampu mengikat kation logam uranium, tembaga, timbal dan ion-ion lain dari limbah tercemar logam berat.

4.3 Hasil Percobaan Bio-Korosi dengan metode Rendam

Hasil pengujian dapat diperoleh setelah melakukan pengujian dengan metode rendam selama 14 hari. Dan dilakukan penimbangan berat spesimen setiap 3 hari sekali.

4.3.1 Material ASTM A53

Tabel 4.2 Data Laju Korosi ASTM A53 Tanpa Heat Treatment

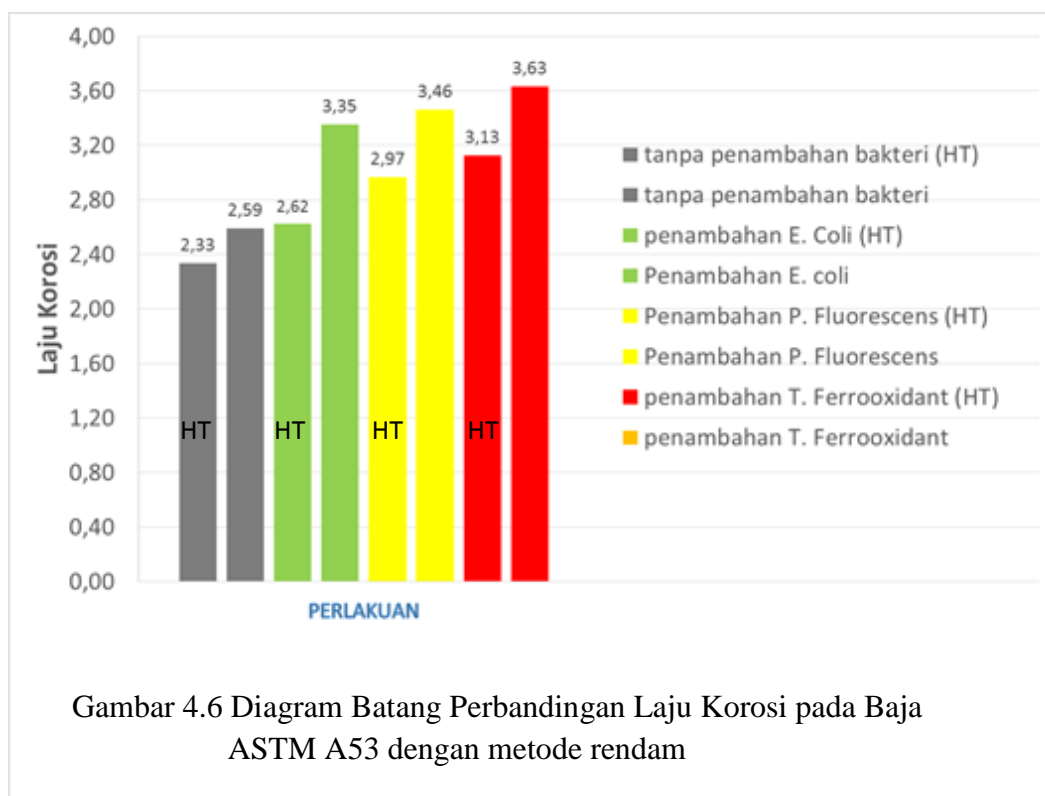
Spesimen	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Lama Reaksi (jam)	Area (cm ²)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata Laju Korosi (mpy)
A1.1	12.1185	12.0848	0.0337	329	12.64	3.56	3.46
A1.2	12.2102	12.1781	0.0321	329	12.72	3.37	
A2.1	10.8460	10.8262	0.0198	190	13.60	3.36	3.35
A2.2	11.8450	11.8257	0.0193	190	13.34	3.34	
A3.1	10.1201	10.0942	0.0259	329	12.91	2.68	2.59
A3.2	11.1203	11.0962	0.0241	329	12.82	2.51	
A4.1	11.3192	11.2893	0.0299	281	12.91	3.62	3.63
A4.2	11.3281	11.2982	0.0299	281	12.82	3.64	

Tabel 4.3 Data Laju Korosi ASTM A53 Dengan Heat Treatment

Spesimen	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Lama Reaksi (jam)	Area (cm ²)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata Laju Korosi (mpy)
AT1.1	10.4472	10.4255	0.0217	281	13.23	2.56	2.58
AT1.2	10.4582	10.4356	0.0226	281	13.64	2.59	
AT2.1	12.6081	12.5841	0.0240	281	12.46	3.01	2.97
AT2.2	12.5981	12.5741	0.0240	281	12.81	2.93	
AT3.1	10.507	10.4812	0.0258	281	12.91	3.12	3.13
AT3.2	10.496	10.4703	0.0257	281	12.82	3.13	
AT4.1	9.9192	9.8996	0.0196	281	12.88	2.38	2.33
AT4.2	9.9182	9.8994	0.0188	281	12.82	2.29	

A1.1 dan A1.2 = ASTM A53 + P. Fluorescens.
A2.1 dan A2.2 = ASTM A53 + E. Coli
A3.1 dan A3.2 = ASTM A53 tanpa penambahan bakteri
A4.1 dan A4.2 = ASTM A53 + T. Ferrooxidan

AT1.1 dan AT1.2 = ASTM A53 + E. Coli
AT2.1 dan AT2.2 = ASTM A53 + P. Fluorescens
AT3.1 dan AT3. 1 = ASTM A53 + T. Ferrooxidan
AT4.1 dan AT4.2 = ASTM A53 tanpa penambahan bakteri



Pada gambar 4.6 dapat diketahui bahwa laju korosi paling tinggi yaitu pada material ASTM A53 tanpa perlakuan panas dengan penambahan bakteri *T. Ferrooxidant* sebesar 3.63 mpy. Sedangkan untuk material yang diberi penambahan bakteri *E. Coli* laju korosinya sebesar 2.59 mpy. Selisih dari penambahan kedua bakteri adalah 1.33 mpy, hal ini perlu dipertimbangkan saat material akan digunakan dalam keadaan yang sebenarnya. Bakteri *T. Ferrooxidant* lebih mampu mendegradasi baja karena bakteri ini lebih banyak menghasilkan produk asam organik, pigmen, ligan dan H_2S yang dapat menghilangkan (remove) ion-ion logam berat dari larutan daripada bakteri *E. Coli* pada baja ASTM A53 (Ishak Isa, dkk, 2013) .

4.3.2 Material API 5L

Tabel 4.4 Data Laju Korosi API 5L Tanpa Heat Treatment

Spesimen	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Lama Reaksi (jam)	Area (cm ²)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata Laju Korosi (mpy)
B1.1	33.914	33.872	0.0420	329	18.03	3.11	3.11
B1.2	33.6124	33.5701	0.0423	329	18.12	3.11	
B2.1	32.9539	32.9265	0.0274	190	18.14	3.49	3.30
B2.2	32.5432	32.519	0.0242	190	17.98	3.11	
B3.1	32.5763	32.5437	0.0326	329	17.61	2.47	2.45
B3.2	32.3412	32.3099	0.0313	329	17.22	2.43	
B4.1	33.5824	33.5431	0.0393	281	17.55	3.50	3.50
B4.2	33.6933	33.6542	0.0391	281	17.43	3.50	

Tabel 4.5 Data Laju Korosi API 5L Dengan Heat Treatment

Spesimen	Berat awal (gram)	Berat akhir (gram)	Selisih Berat (gram)	Lama Reaksi (jam)	Area (cm ²)	Laju Korosi (mpy)	Rata-Rata Laju Korosi (mpy)
BT1.1	35.4545	35.4265	0.0280	281	18.13	2.41	2.35
BT1.2	35.4538	35.4276	0.0262	281	17.92	2.28	
BT2.1	33.1465	33.1134	0.0331	281	18.14	2.85	2.86
BT2.2	33.1465	33.1134	0.0331	281	18.01	2.87	
BT3.1	35.6518	35.617	0.0348	281	17.55	3.10	3.11
BT3.2	35.6518	35.617	0.0348	281	17.43	3.12	
BT4.1	33.1801	33.1571	0.0230	281	17.59	2.04	2.01
BT4.2	33.1791	33.1572	0.0219	281	17.31	1.98	

B1.1 dan B1.2 = API 5L + E. Coli

B2.1 dan B2.2 = API 5L + P. Fluorescens

B3.1 dan B3.2 = API 5L tanpa penambahan bakteri

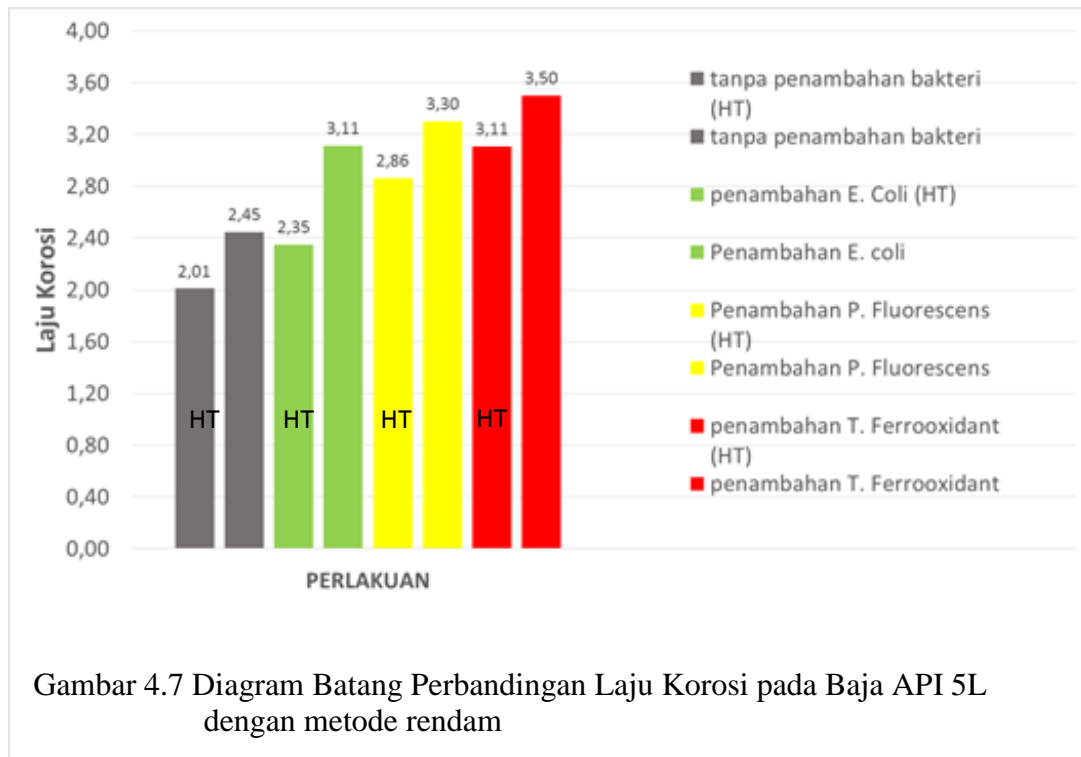
B4.1 dan B4.2 = API 5L + T. Ferrooxidan

BT1.1 dan BT1.2 = API 5L + E. Coli

BT2.1 dan BT2.2 = API 5L + P. Fluorescens

BT3.1 dan BT3.2 = API 5L + T. Ferrooxidan

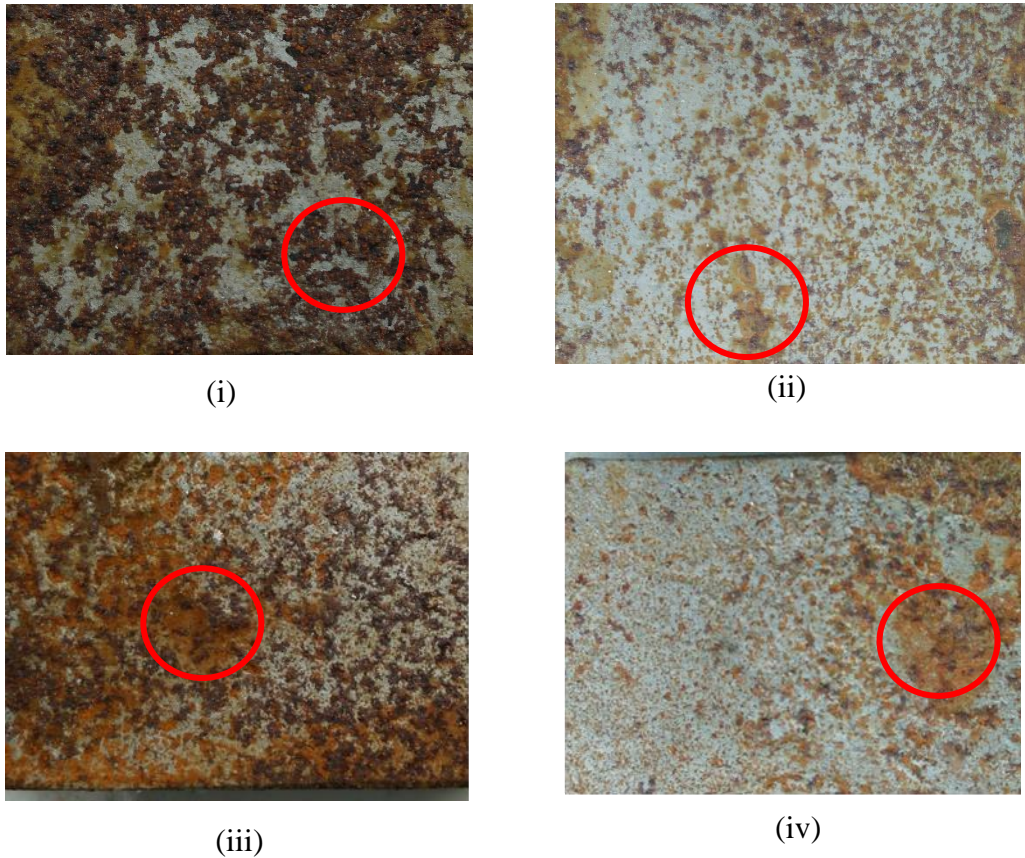
BT4.1 dan BT4.2 = API 5L tanpa penambahan bakteri



Pada gambar 4.7 dapat diketahui bahwa laju korosi paling tinggi yaitu pada material API 5L tanpa perlakuan panas dengan penambahan bakteri *T. Ferrooxidan* sebesar 3.50 mpy. Sedangkan untuk material yang diberi penambahan bakteri *E. Coli* laju korosinya sebesar 2.01 mpy. Selisih dari penambahan kedua bakteri adalah 1.49 mpy, hal ini perlu dipertimbangkan saat material akan digunakan dalam keadaan yang sebenarnya. Dibandingkan dengan material baja ASTM A53, material baja API 5L lebih rendah tingkat korosinya. Artinya baja API 5L lebih mampu menahan korosi bakteri daripada ASTM A53. Bakteri *T. Ferrooxidan* lebih mampu mendegradasi baja karena bakteri ini lebih banyak menghasilkan produk asam organik, pigmen, ligan dan H_2S yang dapat menghilangkan (remove) ion-ion logam berat dari larutan daripada bakteri *E. Coli* pada baja ASTM A53 (Ishak Isa, dkk, 2013) .

4.4 Hasil Foto Makro dan Mikrostruktur

4.4.1 Foto makro



Gambar 4.8 (i) foto makro ASTM A53 (HT) dengan penambahan T. Ferrooxidans
(ii) foto makro ASTM A53 (HT) dengan penambahan E. Coli
(iii) foto makro API 5L (HT) dengan penambahan T. Ferrooxidans
(iv) foto makro API 5L (HT) dengan penambahan E. Coli

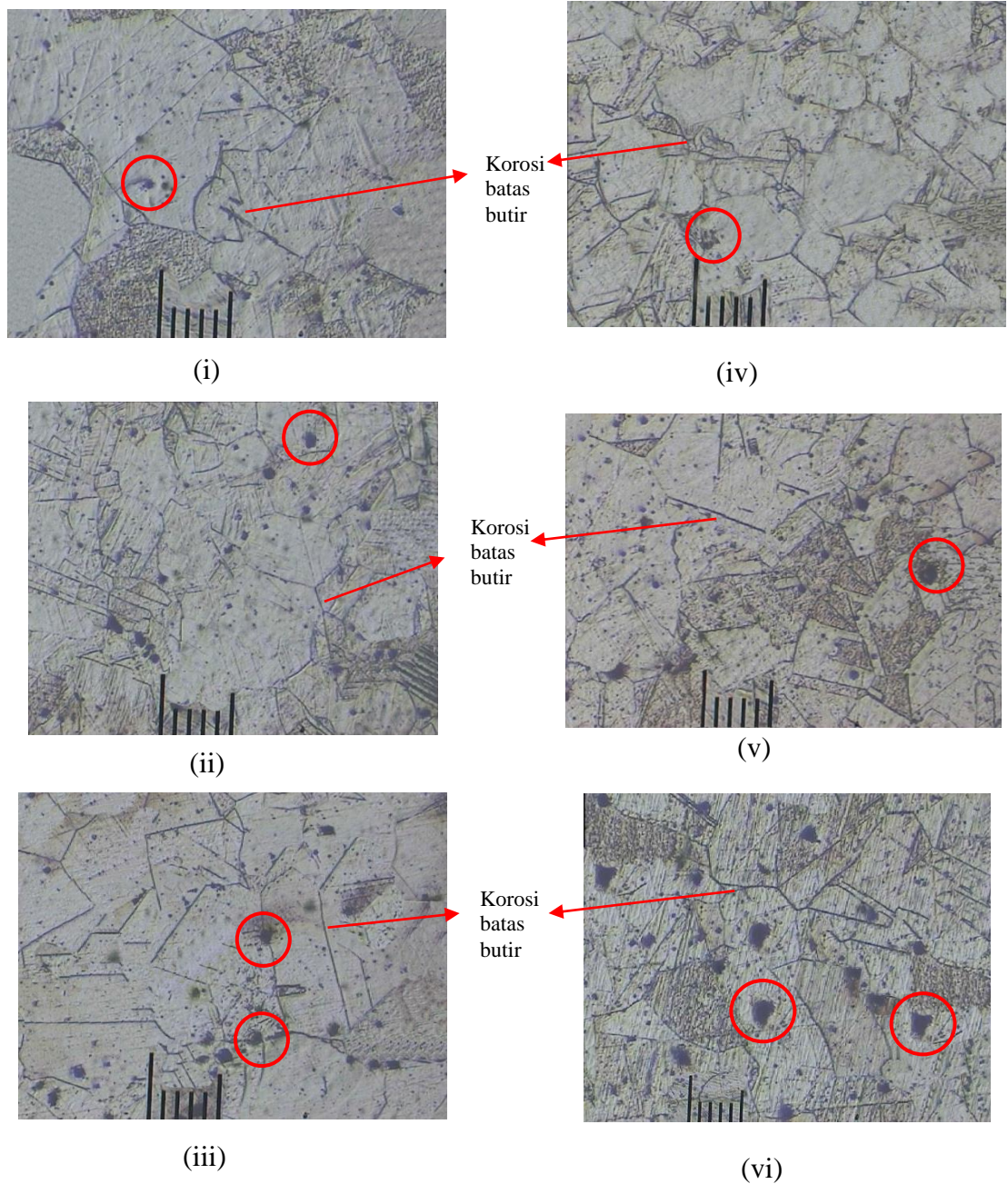
Terlihat pada permukaan material baja ASTM A53 terjadi korosi *pitting* atau sumuran dengan ditandai banyak permukaan kasar dan berlubang berwarna kuning keemasan yang ditunjukkan oleh lingkaran merah. Gambar (i) menunjukkan lebih banyak permukaan yang terkorosi dibandingkan gambar (ii). Begitupun juga gambar (iii) menunjukkan lebih banyak permukaan yang terkorosi dibandingkan gambar (iv). Hal ini dikarenakan gambar 4.8 (i) dan (iii) adanya penambahan bakteri T. Ferrooxidans.

Koloni bakteri membentuk suatu lapisan (biofilm) pada permukaan material sehingga material menjadi terkorosi akibat dari aktivitas hidup mikroorganisme

tersebut. Biofilm atau tempat koloni bakteri inilah yang menyebabkan korosi pitting atau korosi sumuran yang ditunjukkan oleh lingkaran berwarna merah. Korosi sumuran hampir terjadi pada seluruh permukaan spesimen akibat pengujian korosi dengan metode *immersed corrosion test*.

4.4.2 Foto Mikro

Setelah dilakukan uji korosi, permukaan spesimen uji dapat terlihat jelas dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran 1 strip sama dengan 8 mikron.



Gambar 4.9 (i) foto mikro ASTM A53 HT tanpa penambahan bakteri
(ii) foto mikro ASTM A53 HT dengan penambahan T. Ferrooxidant
(iii) foto mikro ASTM A53 ori dengan penambahan T. Ferrooxidant
(iv) foto mikro API 5L HT tanpa penambahan bakteri
(v) foto mikro API 5L HT dengan penambahan T. Ferrooxidant
(vi) foto mikro API 5L ori dengan penambahan T. Ferrooxidant

Dengan pembesaran yang dilakukan nampak awal terjadinya korosi terjadi di daerah batas antar butir. Di daerah antar batas butir tersebut mempunyai potensial elektroda yang berbeda dari dalam butir, maka terjadilah anoda dan katoda. Hal yang sama juga dinyatakan oleh Godard (1969) bahwa sel tegangan, daerah batas butir dapat dianggap bertegangan karena atom-atom tidak berada dalam keadaan stabil atau energi terendah. Bercak hitam yang terdapat di tengah butir adalah mangan sulfida yang tersebar secara acak diseluruh permukaan material. Adanya kandungan mangan sulfida dan silikon cenderung mengurangi laju korosi.

Karena dalam penelitian ini menggunakan pendinginan cepat, karbon akan mengendap bila pendinginan kurang cepat sehingga endapan krom karbida yang terbentuk akan lebih banyak yang menyebabkan daerah disekitar batas butir akan kekurangan krom bebas. Hal ini menyebabkan tidak terbentuknya lapis pelindung terhadap korosi yaitu krom oksida (Cr_2O_3) sehingga di sekitar batas butir akan terjadi korosi antar butir.

Pada gambar 4.9 (i), (ii) dan (iii) terlihat pada permukaan material baja ASTM A53, terjadi korosi batas butir dan sumuran. Gambar 4.9 (ii) dan (iii) menunjukkan lebih banyak permukaan yang terkorosi dibandingkan gambar 4.9 (i) dikarenakan adanya penambahan bakteri. Dan gambar 4.8 (iii) tanpa perlakuan panas.

Pada gambar 4.9 (iv), (v) dan (vi) terlihat pada permukaan material baja API 5L, terjadi korosi batas butir dan sumuran. Gambar 4.9 (v) dan (vi) menunjukkan lebih banyak permukaan yang terkorosi dibandingkan gambar 4.9 (iv) dikarenakan adanya penambahan bakteri. Dan gambar 4.9 (vi) tanpa perlakuan panas. Bakteri tersebut membentuk suatu koloni diatas permukaan logam untuk tempat hidup mereka.

Koloni bakteri membentuk suatu lapisan (biofilm) pada permukaan material sehingga material menjadi terkorosi akibat dari aktivitas hidup mikroorganisme tersebut. *Biofilm* atau tempat koloni bakteri inilah yang menyebabkan korosi *pitting* atau korosi sumuran yang ditunjukkan oleh lingkaran berwarna merah. Adapun korosi *Intergranular* atau korosi batas butir ditunjukkan oleh anak panah berwarna merah. Pada hasil foto mikrostruktur

menunjukkan adanya beberapa bagian pada batas butir yang terlihat lebih tebal sebagai indikasi terjadinya korosi antar butir yang lebih banyak. Hal ini dikarenakan pada gambar 4.9 (iii) dan (vi), material merupakan original (tanpa perlakuan panas Hadening) dan adanya penambahan bakteri pada media korosi, maka korosi batas butir terjadi lebih banyak.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Laju korosi paling tinggi yaitu pada material ASTM A53 original dan API 5L original dengan penambahan bakteri *T. Ferrooxidant* berturut-turut sebesar 3.63 mpy dan 3.50 mpy.

Sedangkan Laju korosi paling rendah yaitu pada material ASTM A53 heat treatment dan API 5L heat treatment tanpa penambahan bakteri berturut-turut sebesar 2.33 mpy dan 2.01 mpy.

2. Dari foto mikro terlihat bahwa terjadi korosi pitting atau sumuran dan korosi batas butir, akibat dari proses korosi yang terjadi akibat aktivitas dari bakteri pada larutan air laut buatan salinitas 35 ‰.
3. Dari data laju korosi yang di dapat, baja API 5L memiliki ketahanan korosi yang lebih baik daripada baja ASTM A53 pada lingkungan laut buatan berbakteri maupun lingkungan laut buatan tak berbakteri. Sehingga pemilihan material pipa baja dapat dikatakan tergantung pada kondisi dari perairan pipa bawah laut yang akan dipasang. Dalam penelitian ini material baja API 5L lebih baik untuk digunakan di perairan yang mengandung bakteri *Sulfate Reducing Bacteria* daripada ASTM A53.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan melakukan survei di perairan yang ditetapkan, untuk mengambil data tentang bakteri yang ada di perairan tersebut.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan penambahan variasi konsentrasi air laut.
3. Pada penelitian selanjutnya diharapkan penambahan variasi jenis bakteri yang akan digunakan
4. Pada penelitian selanjutnya diharapkan penambahan variasi suhu pemanasan pada material baja dalam proses pengerasan.

DAFTAR PUSTAKA

ASM Handbook Vol.13 A., 2003. *Corrosion: Fundamental, Testing, and Protection*, USA

ASTM DI 141-90, 1990. *Standard specification for substitute ocean water. ASTM Standards for Corrosion Testing of Metals*. ASTM., Filadelfia.

ASTM G48, 2003. *Standard test methods for pitting and crevice corrosion resistance of stainless steels and related alloys by use of ferric chloride solution*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2003.

ASTM Internasional. (2004). ASTM G31-72 : *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. United State

Budinski, Kenneth G. 1996. *Engineering Materials. Properties and Selection*. Fifth Edition. New Jersey Colombus, Ohio: Prentice Hall Upper Saddle Rivers.

Gunaatmaja, Andhi. 2011. *Pengaruh Waktu Perendaman Terhadap Laju Korosi Pada Baja Karbon Rendah Dengan Penambahan Ekstrak Ubi Ungu sebagai Inhibitor Organik Di Lingkungan NaCl 3.5 %*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Godard, H.P. 1969. *Localized Corrosion. NACE Basic Corrosion Course*. Houston, Texas.

Harley, J.P. and L.M. Prescott, 2002. *Laboratory Exercises in Microbiology*. 5th Edn., McGraw Hill, New York

Isa, Ishak, dan Yuliana R. 2013. *Pemanfaatan Berbagai Jenis Bakteri Dalam Proses Bioleaching Limbah Logam Berat*. Laporan Tahunan Penelitian Fundamental. Universitas Negeri Gorontalo.

Maluckov, B.S., 2012. *Corrosion of steels induced by microorganisms*. Metall. Mater. Eng., 18: 223-231.

Rahmawati, Miska. 2011. *Studi Pengaruh Waktu terhadap Korosi Mikrobiologi baja karbor API 5L grade B Pada Lingkungan Air Formasi*. FT. UI

NACE., 1994. *Field monitoring of bacterial growth in oilfield systems*. NACE Standard TM 0194-94, Item No. 21224, USA.

Pratikno, Herman., annd Harmin S., 2016. *Bio-corrosion on Steel Structure (ASTM A106 and A53) in Marine Environment*. Asian Journal of Applied Sciences.

Pratikno, Herman. 2007. Mechanical Testing To Know Influence Of Material Thickness For Aisi 4340 Steel Austemper Processing. Jurnal Teknologi Industri Vol. XI No.1 Januari 2007: 77-84.

Rahmati, Miska. (2011). *Studi Pengaruh Waktu Terhadap Korosi Mikrobiologi Baja Karbon API 5L Grade B Pada Lingkungan Air Formasi*. Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia: Depok. Rheinheimer, G. 1991. *Aquatic Microbiology*. 4th Ed. Chichester: John Willey and Sons.

Ugochukwu, C.O. and I. Sunday, 2014. *Cow urine effectiveness in control of microbially induced corrosion on oil transmission pipelines*. Int. J. Eng. Innovative Technol., 3: 192-196.

Yanuar, Ardi Prasetya. 2016. *Pengaruh Penambahan Inhibitor Alami terhadap Laju Korosi pada Material Pipa dalam Larutan Air Laut Buatan*. Tugas Akhir ITS.

LAMPIRAN

1. Pembuatan Volume Larutan NA, NB dan NaCl yang dibutuhkan.

a. Pembuatan Nutrient Agar (NA)

1. Menimbang kebutuhan NA yang berbentuk powder sebanyak 4 gram.
Karena untuk setiap 1000 ml aquades membutuhkan 20 gram NA powder, maka untuk 200 ml aquades adalah :

$$NA = \frac{200 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times 20 \text{ gram} = 4 \text{ gram}$$

2. Menuangkan NA (powder 4 gram) ke wadah, dan ditambahkan aquades ke dalamnya hingga 200 ml.
3. Larutan NA dipanaskan di kompor listrik hingga mendidih. Dan didinginkan untuk siap dituangkan di setiap cawan petri untuk media tumbuh bakteri.

b. Pembuatan Nutrient Broth (NB)

1. Menimbang NB yang berbentuk powder sebanyak 4.8 gram.
Karena untuk setiap 1000 ml aquades membutuhkan 20 gram NA powder, maka untuk 600 ml aquades adalah :

$$NA = \frac{600 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} \times 8 \text{ gram} = 4.8 \text{ gram}$$

2. Menuangkan NB (powder 4 gram) ke wadah, dan ditambahkan aquades ke dalamnya hingga mencapai 600 ml.
3. Larutan NB tidak perlu dipanaskan di kompor listrik. Dan siap dituangkan secara merata di setiap tabung erlenmeyer untuk inokulasi bakteri.

c. Pembuatan Larutan NaCl

1. Menimbang NaCl yang berbentuk powder sebanyak 35 gram untuk salinitas 35 ‰ yang digunakan sebagai media uji *immerse corrosion test* dan 8.5 gram untuk salinitas 8.5 ‰ yang digunakan untuk membilas endapan bakteri dari *centrifuge*.
2. Menuangkan NaCl 35 gram (powder) ke wadah, dan ditambahkan aquades ke dalamnya hingga mencapai 1000 ml.
3. Menuangkan NaCl 8.5 gram (powder) ke wadah, dan ditambahkan aquades ke dalamnya hingga mencapai 1000 ml.

2. Perhitungan Laju Korosi

Keterangan :

- W = Kehilangan berat (mg)
K = konstanta (mpy = $3,45 \times 10^6$)
D = Kerapatan benda uji (g/cm^3)
A = Luas permukaan yang terkorosi (m^2)
T = Waktu exposure (jam)

Spesimen	$Laju\ Korosi = \frac{K \times W}{D \times A \times T}$
----------	---

A1.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.00337}{7.86 \times 12.64 \times 329} = 3.56 \text{ mpy}$
A1.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.321}{7.86 \times 12.72 \times 329} = 3.37 \text{ mpy}$
A2.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.198}{7.86 \times 13.60 \times 190} = 3.36 \text{ mpy}$
A2.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.193}{7.86 \times 13.34 \times 190} = 3.34 \text{ mpy}$
A3.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.259}{7.86 \times 12.91 \times 329} = 2.68 \text{ mpy}$
A3.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0241}{7.86 \times 12.82 \times 329} = 2.51 \text{ mpy}$
A4.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0299}{7.86 \times 12.91 \times 281} = 3.62 \text{ mpy}$
A4.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0299}{7.86 \times 12.82 \times 281} = 3.64 \text{ mpy}$
AT1.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0217}{7.86 \times 13.23 \times 281} = 2.56 \text{ mpy}$
AT1.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0226}{7.86 \times 13.64 \times 281} = 2.59 \text{ mpy}$
AT2.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0240}{7.86 \times 12.46 \times 281} = 3.01 \text{ mpy}$
AT2.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0240}{7.86 \times 12.81 \times 281} = 2.93 \text{ mpy}$
AT3.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0258}{7.86 \times 12.91 \times 281} = 3.12 \text{ mpy}$
AT3.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0257}{7.86 \times 12.82 \times 281} = 3.13 \text{ mpy}$
AT4.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0196}{7.86 \times 12.88 \times 281} = 2.38 \text{ mpy}$

AT4.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0188}{7.86 \times 12.82 \times 281} = 2.29 \text{ mpy}$
B1.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0420}{7.86 \times 18.03 \times 329} = 3.11 \text{ mpy}$
B1.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0423}{7.86 \times 18.12 \times 329} = 3.11 \text{ mpy}$
B2.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0274}{7.86 \times 18.14 \times 190} = 3.49 \text{ mpy}$
B2.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0242}{7.86 \times 17.98 \times 190} = 3.11 \text{ mpy}$
B3.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0326}{7.86 \times 17.61 \times 329} = 2.47 \text{ mpy}$
B3.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0313}{7.86 \times 17.22 \times 329} = 2.43 \text{ mpy}$
B4.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0393}{7.86 \times 17.55 \times 281} = 3.50 \text{ mpy}$
B4.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0391}{7.86 \times 17.43 \times 281} = 3.50 \text{ mpy}$
BT1.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0280}{7.86 \times 18.13 \times 329} = 2.41 \text{ mpy}$
BT1.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0262}{7.86 \times 17.92 \times 281} = 2.28 \text{ mpy}$
BT2.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0331}{7.86 \times 18.14 \times 281} = 2.85 \text{ mpy}$
BT2.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0331}{7.86 \times 18.01 \times 281} = 2.87 \text{ mpy}$
BT3.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0348}{7.86 \times 17.55 \times 281} = 3.10 \text{ mpy}$
BT3.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0348}{7.86 \times 17.43 \times 281} = 3.12 \text{ mpy}$

BT4.1	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0230}{7.86 \times 17.59 \times 281} = 2.04 \text{ mpy}$
BT4.2	$\frac{3,45 \times 10^6 \times 0.0219}{7.86 \times 17.31 \times 281} = 1.98 \text{ mpy}$

A1.1 dan A1.2 = ASTM A53 + P. Fluorescens.
 A2.1 dan A2.2 = ASTM A53 + E. Coli
 A3.1 dan A3.2 = ASTM A53 tanpa penambahan bakteri
 A4.1 dan A4.2 = ASTM A53 + T. Ferrooksidan

AT1.1 dan AT1.2 = ASTM A53 + E. Coli
 AT2.1 dan AT2.2 = ASTM A53 + P. Fluorescens
 AT3.1 dan AT3. 1 = ASTM A53 + T. Ferrooksidan
 AT4.1 dan AT4.2 = ASTM A53 tanpa penambahan bakteri

B1.1 dan B1.2 = API 5L + E. Coli
 B2.1 dan B2.2 = API 5L + P. Fluorescens
 B3.1 dan B3.2 = API 5L tanpa penambahan bakteri
 B4.1 dan B4.2 = API 5L + T. Ferrooksidan

BT1.1 dan BT1.2 = API 5L + E. Coli
 BT2.1 dan BT2.2 = API 5L + P. Fluorescens
 BT3.1 dan BT3.2 = API 5L + T. Ferrooksidan
 BT4.1 dan BT4.2 = API 5L tanpa penambahan bakteri

BIODATA PENULIS



Febrian Ramadhana Sastradimaja, anak kedua dari dua bersaudara ini lahir di Lumajang pada tanggal 31 Januari 1995. Pendidikan formal penulis dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SDN Tempeh Lor 1 pada tahun 2007 dan SMP Negeri 1 Sukodoo pada Tahun 2010. Kemudian menyelesaikan jenjang Pendidikan Menengah di SMA Negeri 2 Lumajang pada tahun 2013. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan ke jenjang Pendidikan Tinggi Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur SNMPTN Undangan dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 4313100021. Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif di organisasi kemahasiswaan. Dalam organisasi kemahasiswaan, penulis menjadai STAFF Anggota Departemen Pendidikan di Lembaga Dakwah Jurusan Teknik Kelautan ITS periode 2015 - 2016. Penulis pernah berkesempatan melaksanakan Kerja Praktek di Pertamina Unit Pengolahan VI, Indramayu selama 2 bulan. Selama masa studi penulis sangat tertarik dengan bidang ahli perancangan dan produksi bangunan laut terutama penanganan terhadap korosi dan pemilihan material pada material baja untuk *pipeline* serta anjungan lepas pantai.